

## Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

**BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA**  
UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
Chía - Cundinamarca



El presente formulario debe ser diligenciado en su totalidad como constancia de entrega del documento para ingreso al Repositorio Digital (Dspace).

<b>TITULO</b>	Estudio de la relación entre integración y productividad en una cadena de suministro por medio de uso conjunto de herramientas cualitativas y cuantitativas.		
<b>SUBTITULO</b>			
<b>AUTOR(ES)</b> Apellidos, Nombres (Completo) del autor(es) del trabajo	Polo Roa, Andrés		
<b>PALABRAS CLAVE</b> (Mínimo 3 y máximo 6)	cadena de suministros		índice Malmquist
	productividad		análisis envolvente de datos
	rendimiento		integración
	<b>RESUMEN DEL CONTENIDO</b> (Mínimo 80 máximo 120 palabras)	<p>En este trabajo se desarrolla un índice de productividad aplicable cuando las cadenas de suministro desean de mejorar costos y compensaciones. El índice está inspirado en el índice de Malmquist, que se descompone en el cambio técnico y la eficiencia. Estas descomposiciones proporcionan una imagen más clara de las fuentes fundamentales del cambio de productividad para la toma de decisiones en las cadenas de suministro. Las mediciones se realizaron en los resultados de cálculo de un modelo matemático de la cadena de suministro configurado como no integrado e integrado; para obtener los resultados se calculan usando programación matemática no paramétrica.</p>	

Autorizo (amos) a la Biblioteca Octavio Arizmendi Posada de la Universidad de La Sabana, para que con fines académicos, los usuarios puedan consultar el contenido de este documento en las plataformas virtuales de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

**ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE INTEGRACIÓN Y PRODUCTIVIDAD EN UNA  
CADENA DE SUMINISTRO POR MEDIO DE USO CONJUNTO DE HERRAMIENTAS  
CUALITATIVAS Y CUANTITATIVAS.**

**ING. ANDRÉS POLO ROA**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS  
CHÍA, MARZO 5 DE 2013**

**ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE INTEGRACIÓN Y PRODUCTIVIDAD EN UNA  
CADENA DE SUMINISTRO POR MEDIO DE USO CONJUNTO DE HERRAMIENTAS  
CUALITATIVAS Y CUANTITATIVAS.**

**ING. ANDRÉS POLO ROA**

Trabajo de investigación presentado  
como opción de grado para optar  
por el título de magister.

**DIRECTOR: MSc. CÉSAR LÓPEZ BELLO**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS  
CHÍA, MARZO 5 DE 2013**

Nota aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma presidente del jurado

---

Firma presidente del jurado

---

Firma presidente del jurado

Chía, 1 de marzo de 2013

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>14</b>
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
<b>1.2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>15</b>
<b>1.3. OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
1.3.1 Objetivo General	18
1.3.2 Objetivos Específicos	19
<b>1.4 HIPOTESIS</b>	<b>19</b>
<b>1.5 SUPUESTOS</b>	<b>19</b>
<b>1.6 JUSTIFICACIÓN</b>	<b>20</b>
<b>1.7 DELIMITACIÓN</b>	<b>21</b>
<b>1.8 METODOLOGÍA</b>	<b>22</b>
1.8.1 Tipo de investigación	22
1.8.2 Diseño de investigación	22
1.8.3 Definición de variables	24
1.8.4 Recolección de información	24
1.8.5 Actividades a desarrollar	24
<b>1.9.1 GLOSARIO</b>	<b>26</b>
<b>2. INTEGRACIÓN, COLABORACIÓN Y PRODUCTIVIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTROS: ANÁLISIS DE EVIDENCIA</b>	<b>28</b>
<b>2.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>29</b>
2.1.1 Revisión de la literatura como un enfoque de investigación	30
2.1.2 Selección de publicaciones y documentos a analizar	30
2.1.3 Enfoques de las investigaciones	32
<b>2.2 INTEGRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO</b>	<b>33</b>
<b>2.3 ANTECEDENTES DE LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS E INTEGRACIÓN</b>	<b>37</b>
2.3.1 Integración y Gestión de la cadena	37
2.3.2 Integración y tecnologías de información	45
<b>2.4 PRÁCTICAS INTEGRADORAS</b>	<b>48</b>

2.4.1	Integración con proveedores	50
2.4.2	Integración con clientes	50
<b>2.5.</b>	<b>NIVEL DE INTEGRACIÓN</b>	<b>51</b>
<b>2.6.</b>	<b>INTEGRACIÓN Y COLABORACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO</b>	<b>52</b>
<b>2.7</b>	<b>EL IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DE CADENA DE SUMINISTRO EN EL RENDIMIENTO</b>	<b>55</b>
2.7.1	Dimensiones de integración	55
2.7.2	Intercambio de Información y rendimiento de la cadena de suministro	59
<b>2.8</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>62</b>
<b>3.</b>	<b>REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DE UNA CADENA DE SUMINISTRO</b>	<b>64</b>
<b>3.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>64</b>
<b>3.2</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>66</b>
3.2.1	Modelo MLP	69
3.2.2	Programación Multi Objetivo	71
3.2.3	Limitaciones	73
3.2.4	Tamaño del modelo	74
<b>3.3</b>	<b>FORMULACIÓN DEL MODELO</b>	<b>74</b>
3.3.1	Supuestos	76
3.3.2	Índices, parámetros y variables	76
3.3.2.1	Índices	77
3.3.2.2	Parámetros	77
3.3.2.3	Variables	80
3.3.3	Ecuaciones	82
3.3.3.1	Medidas de desempeño	95
<b>3.4</b>	<b>RESULTADOS DEL MODELO</b>	<b>103</b>
<b>3.5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>105</b>
<b>4.</b>	<b>MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN LAS CADENAS DE SUMINISTRO: ENFOQUE MEDIANTE ÍNDICE DE MALMQUIST</b>	<b>107</b>
<b>4.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>107</b>
<b>4.2.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>109</b>
4.2.1	Cálculo de eficiencias	112
4.2.2	Índice de Malmquist	114

4.2.3	El índice de productividad de Malmquist: DEA pesimista	116
4.2.4	Agregación de los índices de productividad de Malmquist	119
<b>4.3.</b>	<b>RESULTADOS DE EXPERIMENTACIONES</b>	<b>120</b>
4.3.1	Cadena de suministros no integrada	120
4.3.2	Cadena de suministros integradas horizontalmente	120
4.3.3	Cadena de suministros integradas verticalmente	121
4.3.4	Cadena de suministros integradas horizontal-verticalmente	121
4.3.5	Cadena de suministros integradas horizontal-verticalmente 2	122
<b>4.4.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>122</b>
4.4.1	Análisis de rendimiento	123
4.4.1.	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	123
4.4.1.2	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	124
4.4.1.3	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal- verticalmente	124
4.4.1.4	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente 2	125
<b>4.5</b>	<b>CÁLCULO DE EFICIENCIAS PESIMISTAS</b>	<b>126</b>
4.5.1	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	126
4.5.2	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	127
4.5.3	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal- verticalmente	128
4.5.4	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente 2	128
<b>4.6</b>	<b>CÁLCULO DE EFICIENCIAS OPTIMISTAS</b>	<b>129</b>
4.6.1	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	130
4.6.2	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	130
4.6.3	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal- verticalmente	130
4.6.4	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente 2	131



<b>4.7</b>	<b>INDICE DE EFICIENCIA AGREGADO</b>	<b>132</b>
4.7.1	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	133
4.7.2	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	134
4.7.3	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal- verticalmente	134
4.7.4	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente 2	135
<b>4.8</b>	<b>INDICE DE PRODUCTIVIDAD DE MALMQUIST</b>	<b>136</b>
<b>4.9</b>	<b>CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD PESIMISTAS</b>	<b>136</b>
4.9.1	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	137
4.9.2	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	137
4.9.3	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal- verticalmente	137
4.9.4	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente 2	138
<b>4.10</b>	<b>CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD OPTIMISTAS</b>	<b>139</b>
4.10.1	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	139
4.10.2	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	140
4.10.3	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal- verticalmente	140
4.10.4	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente 2	141
<b>4.11</b>	<b>INDICE DE PRODUCTIVIDAD AGREGADO</b>	<b>142</b>
4.11.1	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	142
4.11.2	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	143
4.11.3	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical	143
4.11.4	Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada	

horizontal-vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución	144
<b>4.12 CONCLUSIONES PARCIALES</b>	<b>145</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>147</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES</b>	<b>147</b>
<b>5.2 RECOMENDACIONES</b>	<b>149</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>151</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Revistas para el desarrollo de la revisión	21
Tabla 2. Capas de integración de la cadena de suministros	34
Tabla 3. Concepto de integración de la cadena de suministros	35
Tabla 4. Prácticas integradoras	49
Tabla 5. Constructo y definiciones de colaboración de la cadena de suministro	54
Tabla 6. Enfoques de modelos de cadenas de suministros	67
Tabla 7. Resumen para modelos de programación entera mixta	69
Tabla 8. Resumen para modelos de programación multi-objetivo	73
Tabla 9. Resultados de experimentaciones	84
Tabla 10. Resultados de comparaciones de escenarios con escenario base95	
Tabla 11. Escenarios para experimentaciones	112
Tabla 12. Resultados para cadenas no integradas	120
Tabla 13. Resultados para cadenas integradas horizontalmente	121
Tabla 14. Cadena de suministros integradas verticalmente	121
Tabla 15. Cadena de suministros integradas horizontal-verticalmente	122
Tabla 16. Cadena de suministros integradas horizontal-verticalmente 2.	122
Tabla 17. Rendimiento en medias de desempeño cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	123

Tabla 18.	Rendimiento en medias de desempeño cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	124
Tabla 19.	Rendimiento en medias de desempeño cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente	125
Tabla 20.	Rendimiento en medias de desempeño cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente	126
Tabla 21.	Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	127
Tabla 22.	Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	127
Tabla 23.	Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal –vertical	128
Tabla 24.	Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal –vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución	129
Tabla 25.	Eficiencias optimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	130
Tabla 26.	Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	131
Tabla 27.	Eficiencias optimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical	131
Tabla 28.	Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal–vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución	132
Tabla 29.	Eficiencias agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	133
Tabla 30.	Eficiencias agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	134
Tabla 31.	Eficiencias agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal –vertical	135
Tabla 32.	Eficiencias agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal–vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución	135

Tabla 33.	Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	136
Tabla 34.	Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	137
Tabla 35.	Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	138
Tabla 36.	Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal –vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución	138
Tabla 37.	Índice de productividad optimista para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	139
Tabla 38.	Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	140
Tabla 39.	Eficiencias optimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical	141
Tabla 40.	Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal –vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución	141
Tabla 41.	Productividad agregada para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente	143
Tabla 42.	Productividades agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente	143
Tabla 43.	Productividades agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal –vertical	144
Tabla 44.	Productividades agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal–vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución	145

## **INTRODUCCIÓN**

Durante la última década, uno de los temas principales en la gestión de la cadena de suministro que se ha desarrollado en la literatura especializada ha sido el papel de la integración de eslabones como un factor clave en el logro de mejoras. Dadas estas circunstancias más y más empresas toman conciencia del rendimiento de su cadena de suministro y su importancia de mejora mediante la coordinación de la producción, inventarios y la distribución de productos; estas operaciones se están conociendo como la próxima fuente de ventaja competitiva y su integración, entre todos los actores de una cadena debe ser fuente de una valiosa herramienta para la toma de decisiones (Lee y Whang, 2005, Gupta et al. 2001).

Muchos autores parecen coincidir en que las prácticas de integración tienen efectos positivos en las empresas y en el rendimiento de la cadena. En trabajos como Childerhouse y Towill (2003) se han proporcionado pruebas empíricas convincentes para la relación entre la integración y el rendimiento de una cadena de suministro. Sin embargo se han planteado dudas (Ho et al. 2002) con respecto a la relación entre dicha integración y el rendimiento.

Al respecto se han desarrollado varios estudios tratando el problema de integración de producción, inventarios y distribución en cadenas de suministro mediante modelos que plantean la coordinación de la producción de una o varias plantas, sus inventarios y las operaciones de distribución para satisfacer la demanda de los clientes con el objetivo de minimizar el costo. Esta integración presenta un reto para los fabricantes que desean optimizar los recursos de su cadena de suministro (Frohlich y Westbrook, 2001; Zailani y Rajagopal, 2005). A nivel de planificación, el objetivo inmediato consiste en coordinar la producción, inventario y entrega para satisfacer la demanda del cliente de modo que los correspondientes costos se reduzcan al mínimo. El logro de este objetivo proporciona las bases para la mejora de la red logística y para la integración de otros componentes operativos y financieros del sistema (Global Commerce Initiative, 2008). Estos trabajos

contemplan una integración vertical de la cadena de suministro pero no hay evidencia de realizar alternamente una integración horizontal entre los elementos de un mismo eslabón.

El marco de la investigación es un estudio de mejora de la productividad de una cadena de suministro en la que cada empresa asociada a un eslabón se representa como una red de actividades económicas asociadas con la fabricación, distribución y almacenamiento y con capacidades explícitas impuestas en sus alcances organizacionales, se presentan los modelos de pre-y post-integraciones horizontales – verticales ilustrados con varios ejemplos numéricos.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los problemas de integración entre la planeación y programación son muy comunes en la industria. Ballow afirma que "la integración de control de inventarios y distribución física trae acercamiento tanto a la funciones de producción y distribución en muchas empresas, de manera que en el futuro podemos ver la producción y logística mucho más cerca en el concepto y la práctica" (Ballow, 2012). Las funciones de producción y distribución pueden disociar completamente si hay un gran inventario existente entre ellas, generando el llamado efecto látigo sin embargo, la tendencia a la fabricación justo a tiempo reduce los niveles de inventario, hace que las dos funciones tengan una interacción más estrecha. Dado que las empresas requieren cada vez menos los niveles de inventario, los modelos para la gestión integrada de la producción, inventario y distribución entre eslabones de una cadena de suministro se harán más y más importantes.

En la actualidad se evidencia que cada uno de los componentes de la cadena de suministro o sistemas de apoyo (Kalenatic et al. 2009) realizan sus propias estrategias para lograr óptimos locales olvidando el total del sistema logístico originando los siguientes problemas descritos por Pujari: Sobrecostos debido a la falta de coordinación entre los proveedores y fabricantes, o entre fabricantes y distribuidores; poco intercambio de información entre sistemas de apoyo originando disminución en los niveles de satisfacción del cliente; mala utilización de los recursos existentes en la cadena de suministro; la ausencia de coordinación que provoca la ejecución de tareas similares que se realiza en múltiples puntos a lo largo de la cadena de suministro; las funciones individuales de la cadena de suministro puede proporcionar una solución rápida a un problema temporal, pero no puede proporcionar una ventaja estratégica que viene con una visión a largo plazo (Pujari, 2006).

La mayoría de los modelos presentados hasta ahora han tratado los subsistemas de producción y red de distribución por separado, o hay intentos de coordinar sólo partes de toda la red. (Johnston et al., 2004; Van der Vaart y Van Donk 2008). Esta solución por medio de una sola metodología de solución, según varios autores (Gutiérrez et al. 2007;



Pochet y Wolsey 2006; Bard y Nananukul 2008) es un poco compleja debido a su naturaleza combinatoria pues se debe tener en cuenta las decisiones de producción y el equilibrio del flujo de inventario entre los diferentes centros de distribución, razón por la cual la metodología de integración solo se limitara al problema de distribución, mas no de inventarios, ruteo e información.

El problema de la presente investigación está planteado así: ¿Cuánto mejora la productividad al implementar la metodología de integración horizontal y vertical de los sistemas de apoyo de toda la cadena de suministro?

El enfoque de la presente investigación está en identificar la relación entre la integración de cadenas de suministro y la productividad iniciando con un planteamiento cualitativo basado en una minuciosa revisión de literatura en la cual se examinará la influencia de la integración de la cadena de suministro en el rendimiento, eficiencia y productividad de la misma y analizar la evidencia empírica en relación con esta cuestión fundamental para la logística y gestión de la cadena de suministro, esta primera fase de la metodología identificará las variables más incidentes en una estrategia de administración de la cadena orientada hacia el cliente, las cuales posteriormente alimentaran modelos cuantitativos que abordarán el problema de integración horizontal y vertical de cadenas de suministro basada en el enfoque de producción distribución a fin de generar información para ser analizada mediante programación no paramétrica y determinar la relación de productividad e integración de toda la cadena de suministro.

## **1.2 MARCO TEÓRICO**

Cada segundo se producen millones de veloces transacciones comerciales a través de las líneas telefónicas, las redes informáticas y los equipos inalámbricos. Estos datos desencadenan el movimiento de mercancías y fondos que conecta a compradores y vendedores, así como a todos los intermediarios que hacen posible las operaciones comerciales. Todas estas transacciones se denominan procesos, de los cuales se encuentra inmersa cualquier estructura empresarial, ya que un proceso es simplemente una serie de pasos o actividades coordinadas y concatenadas entres sí cuyo objetivo

fundamental es el de transformar un determinado insumo o recurso a fin de obtener un resultado o producto. (García, 2002).

La gestión de la cadena de suministro según la definición de Lambert y Cooper (2000), 'es la integración de procesos empresariales clave del usuario final a través de proveedores que ofrece productos originales, servicios e información que agregan valor para los clientes y otras partes interesadas.' Desde esta perspectiva, la integración comercial de procesos la organización es un elemento esencial de la gestión de la cadena de suministro (Ho et al., 2002).

Es así como surge el enfoque de cadenas de suministro, cuya propuesta básica se centra en la integración de procesos como elemento primordial en la optimización de operaciones organizacionales. Con esta propuesta entonces, resulta imperativo que los miembros de una cadena de suministro trabajen en un esfuerzo conjunto a fin de minimizar los costos totales de transportación, almacenamiento, distribución, y colocación final del producto. Es importante visualizar entonces que la integración de procesos, la confianza al intercambiar información vital para el funcionamiento eficiente, asociado al apoyo concedido por el recurso humano y tecnológico, otorgaran a las organizaciones involucradas magníficos beneficios globales.

En general, la integración de procesos en la cadena de suministro tienen como objetivo minimizar los trastornos asociados con el efecto látigo (Lee et al., 1997). Este efecto, causado por disparidades entre la oferta y la demanda en la cadena de suministro, generalmente conduce a la ineficiencia, aumentar los costos, el aumento de los residuos, y pérdida de productividad en forma de agotamiento de existencias, inventarios elevados, retraso en las entregas de material, y subutilización de las capacidades de producción (Siemieniuch et al., 1999). Por la integración de procesos la cadena de suministro pueden desarrollar planes comunes y las previsiones para sincronizar la producción con el envío y los plazos de entrega con el fin de reducir los costos, plazos de entrega, la seguridad las existencias e inventarios, el aumento de la rotación de inventarios, ingresos y beneficios marginales y la mejora del rendimiento operativo, la flexibilidad, fiabilidad, calidad y productividad (Vijayasarathy, 2010)

Integración se define como la fusión de las piezas en su conjunto, y la integración de la cadena de suministro, se refiere a la adopción y uso de estructuras de colaboración y coordinación, procesos, tecnologías y prácticas entre los eslabones de una cadena de suministro para la construcción y el mantenimiento de un conducto para el preciso y oportuno flujo de información, materiales y productos terminados. (Danese et al., 2006), La integración también se ha definido en torno a una faceta específica de la cadena de suministro, es decir, la logística y distribución (Narasimhan y Das, 2006), la información y los sistemas de comunicación (Barut et al., 2002; Kim et al., 2006), y desarrollo de productos (Ragatz et al., 2002).

Dichos productos podrían ser transportados hacia los minoristas directamente, o primero podrían ser trasladados hacia los canales de distribución, los cuales, a su debido tiempo, remiten los productos hacia los minoristas. Estos procesos incluyen la gestión de entrega de inventarios, transportación, y entrega final del producto. Estos procesos interactúan unos con otros a fin de generar una cadena de suministro integrada. El diseño y la gerencia de esos procesos determinan la extensión para la cual la cadena de suministro trabaja como una unidad que reúne requerimientos de funcionamiento comunes. (García, 2002). Examinando detalladamente los elementos principales que conforman una cadena de suministro la presente investigación adoptará el siguiente enfoque de análisis: por una parte se encuentran los procesos de transformación, suministro, y almacenamiento tanto de insumos como de productos terminados; y por el otro lado tenemos los procesos de distribución, colocación, y entrega final del producto.

Las tecnologías y herramientas que se utilizan para permitir la integración también se han utilizado para caracterizar la integración de la cadena de suministro. Por ejemplo, Wang et al. (2006) al utilizar la integración virtual -término para describir tecnología de la información- permitió operaciones de colaboración y planificación conjunta y el control entre los fabricantes y proveedores. También puede describirse como la integración de proveedores y clientes a través de Internet (Cagliano et al., 2003). Por último, la integración también ha sido clasificada en términos de la direccionalidad de su gestión (Trento y Monczka, 1998), la integración hacia adelante se refiere a la gestión de la integración y el flujo de información desde el proveedor al fabricante a y la integración

hacia atrás de los clientes a la inversa, cuando la atención se centra en el flujo de información procedente del cliente al fabricante y al proveedor.

En reconocimiento de la diversidad y naturaleza compleja de la integración de una cadena de suministro, algunos investigadores han propuesto una conceptualización multidimensional con estructura. Van Donk y Van Der Vaart (2005) identifican cuatro dimensiones en las que la integración del proceso puede ser: el flujo observado de productos, planificación y control, organización, y el flujo de información.

Una serie de estudios empíricos han explorado el impacto de la integración de la cadena de suministro y han encontrado una asociación positiva entre la vinculación de una empresa con sus proveedores y/o clientes y su operativa y/o rendimiento financiero (Giménez y Ventura, 2005; Kulp et al., 2004).

En contraste con el número de estudios que han examinado la consecuencias de la integración de la cadena de suministro, relativamente pocos estudios han examinado los factores que permiten o impiden que esta se realice (Ho et al. 2002). Algunos de los factores que han demostrado la influencia en la cadena de suministro incluyen el compromiso de integración estratégica, capacitación por la alta dirección y los servicios externos de consultores (Christopher, 2000). Además, factores externos como la incertidumbre (Wang et al., 2006), y la tecnología (Ragatz et al., 2002) también han sido identificados como determinantes de la integración de la cadena de suministro.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar la integración horizontal y vertical de procesos logísticos de producción distribución en términos de productividad mediante la utilización de métodos cualitativos y cuantitativos a fin de generar una base para la toma de decisiones en cadenas de suministro.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar los elementos que componen la integración de las cadenas de suministro mediante una revisión de literatura para comprender su inferencia con la productividad
- Diseñar un modelo de cadena de suministro mediante programación entera mixta en el cual se puedan hacer mediciones de rendimiento de medidas de desempeño mediante experimentaciones a fin de determinar diferencias entre integración y no integración de los procesos logísticos.
- Evaluar la productividad de la cadena de suministro modelada anteriormente mediante el uso de índice Malmquist para determinar cambios en este indicador al ser integrada o no dicha cadena.

## 1.4 HIPOTESIS

H<sub>G</sub>: La integración horizontal y vertical de los sistemas que componen la cadena de suministro afectará positivamente la productividad de todo el sistema logístico.

## 1.5 SUPUESTOS

Las técnicas cuantitativas de IO entregan factibilidad sobre el modelo matemático planteado en la metodología propuesta para la solución del problema de integración planteado (Maloni, M. & Benton, W.C., 1997)

Las relaciones entre cada uno de los nodos pueden modelarse mediante programación lineal (Vlachos, D., et al, 2006).

## **1.6 JUSTIFICACIÓN**

Este estudio desea llenar un vacío en el ámbito de la cadena de suministro debido a la falta de una metodología que integra de manera simultánea los flujos existentes entre los diferentes sistemas que la componen tanto de forma horizontal como vertical que sirva como herramienta para la toma de decisiones de los administradores de los sistemas logísticos. Otra razón para investigar este problema radica en que la mayoría de las investigaciones relativas a él es conceptual y cada una mediante una técnica diferente de optimización (por lo general de óptimos locales), más no con una metodología que convine dichas técnicas para lograr una relación directa al problema productividad e integración.

Existen beneficios identificados en la literatura especializada de cómo la integración tanto horizontal como vertical pueden ayudar a un sistema logístico para mejorar su rendimiento a través de la planeación y ejecución en colaboración con todos sus subsistemas integrantes. Entre los más destacados se hace mención a la optimización conjunta de las diversas funciones en un entorno de fabricación, como por ejemplo, la localización, producción y distribución, inventario, reducción del espacio necesario de almacenamiento, la reducción de la manipulación de materiales y la reducción en los costos de transacción debido a la gran cantidad de información compartida en un ambiente integrado.

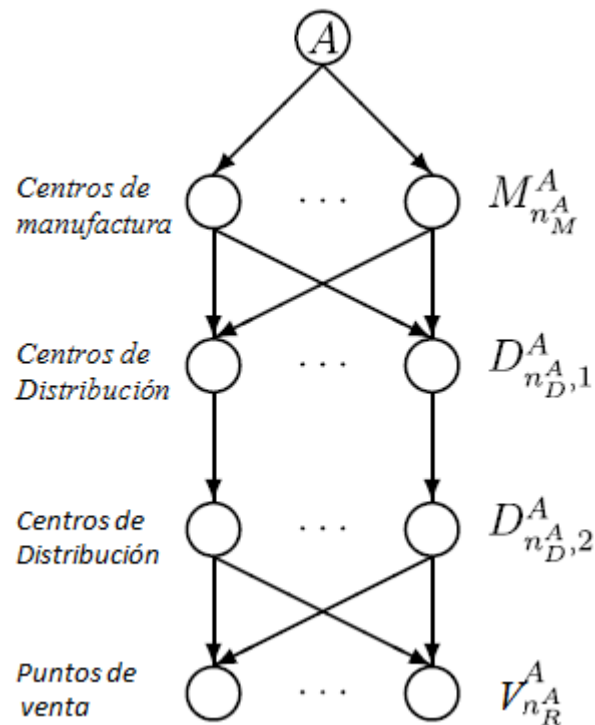
## **1.7 DELIMITACIÓN**

La metodología de integración se realizará en dos fases: una cualitativa basada en revisión de literatura y otra en métodos cuantitativos alimentada por la información suministrada por la primera.

El estudio cuantitativo de integración se realizará mediante programación entera mixta y programación no paramétrica como lo son Análisis Envolvente de Datos (DEA) e Índice de productividad de Malmquist.

La integración de cadenas de suministro se realizará en diseños de redes de almacenaje por parte de fábricas y distribuidores mayorista y minoristas (Chopra, 2003), bajo las configuraciones presentadas por Nagurney. Estas son:

**Figura 1. Configuración cadena de abastecimiento**



Fuente: Nagurney . (2008)

La integración de cadenas de suministro se restringirá al problema de producción distribución.

Las experimentaciones se realizarán bajo el enfoque de minimización de costos de gestión de la cadena de suministro

## **1.8 METODOLOGÍA**

**1.8.1 Tipo de investigación.** Se consideró que el tipo de investigación que le corresponde y se ajusta a este estudio es de carácter bidimensional, abordando tanto la naturaleza descriptiva como la naturaleza relacional de las cadenas de suministros. Por lo tanto se plantea que el estudio es Descriptivo y Correlacional.

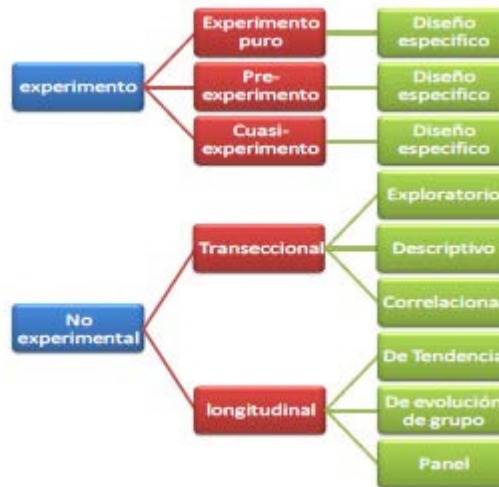
En la dimensión descriptiva de la investigación se estudiarán los conceptos relacionados con los procesos de integración horizontal y vertical y la productividad de la cadena de abastecimiento, las cuales se analizarán para describir lo encontrado en cada una de ellas y como afectan su rendimiento, eficiencia y productividad.

En la dimensión correlacional de la investigación se enfatiza en la tarea de detectar las relaciones que existen entre las variables involucradas en la integración entre los sistemas de apoyo de la cadena de suministro y su efecto en la productividad.

**1.8.2 Diseño de investigación.** El diseño de la investigación es el plan o estrategia que se tiene para lograr obtener la información deseada, la cual, debe ser suficiente para el logro de los objetivos de la investigación y para responder a la problemática planteada. (Hernandez et. al., 2003). Se seleccionó el diseño de la investigación con base en el siguiente proceso:



**Figura 2. Proceso de investigación**



Fuente: Hernandez et. al. (2003)

Para esta investigación se concluyó que el diseño de la investigación se aplicará de forma cuasi-experimental, ya que, en este se manipulan variables deliberadamente de un modelo propuesto mediante programación entera mixta manera intencional lo que hace ver el fenómeno tal como sucede para después analizarlo (Hernandez et. al., 2003) mediante un estudio antes/después estableciendo una medición base (cadena no integrada) y otra posterior (cadena integrada).

Al igual se considera tener un primera fase descriptiva y una segunda correlacional; esto para realizar una investigación más detallada sobre el estado actual de la integración de cadenas de suministro tanto horizontal como vertical y su efecto sobre la productividad en el sistema.

**1.8.3 Definición de variables** Estas variables se presentan en cuadro 1.

**Cuadro 1. Variables de la investigación**

<b>Variables</b>	<b>Clasificación Criterio: Dependiente- Independiente</b>	<b>Clasificación Criterio: Nominal-Ordinal- proporcional</b>
Integración horizontal y vertical	Independiente	Cualitativa nominal
Métodos de integración	Independiente	Cualitativa ordinal
Optimización de operaciones	Independiente	Cuantitativa continua
Configuración de la cadena de suministro	Dependiente/Independiente	Cualitativa nominal
Productividad	Dependiente	Cuantitativa continua

Para la medición de la productividad de la cadena de suministro se implementaran los modelos CCR y Malmquist.

**1.8.4 Recolección de información.** La investigación se basará inicialmente en una revisión de literatura para identificar los elementos de los diferentes subsistemas que componen un sistema logístico con el fin de conocer sus posibles integraciones. Se utilizarán herramientas de mapeo de referencias bibliográficas con el fin de obtener criterios de clasificación de los artículos de investigación capturados en las diferentes bases de datos seleccionadas: Science Direct, Emerald, ProQuest, Ebsco. La información obtenida en esta etapa servirá como fundamento para el desarrollo de la segunda fase la cual se apoyará en herramientas cuantitativas como lo son la programación lineal entera mixta, DEA e índice de productividad de Malmquist.

**1.8.5 Actividades a desarrollar.** A continuación se describen las actividades a desarrollar en la presente investigación:

- OBJETIVO ESPECÍFICO 1

1. Revisión del estado del arte de las teorías de integración, características de sistemas logísticos, configuraciones de cadenas de suministro y estrategias de integración.
2. Analizar conceptos relacionados con la integración de cadenas de suministro como son la cooperación de la cadena, prácticas integradoras, nivel de integración.
3. Evidenciar la relación entre integración de la cadena de suministro y la productividad.

- OBJETIVO ESPECÍFICO 2

1. Analizar estudios de cadenas de suministro basados en programación lineal y multi-objetivo a fin de determinar, el enfoque del modelo, propósito, limitaciones y la aplicación.
2. Documentar modelos con información paramétrica basados en la información estadística del sector manufacturero.
3. Determinar las medidas de desempeño a incluir en el modelo para comparar cada una de las diferentes experimentaciones a realizar computacionalmente.
4. Desarrollar un modelo de programación lineal entera mixta con el fin de analizar resultados de integración tanto vertical como horizontal y no integración como base para el estudio de productividad.
5. Realizar una prueba base a fin de determinar si el modelo planteado genera información pertinente para el estudio de rendimiento y productividad de la cadena de suministro.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO 3**

1. Realizar un esquema general de las experimentaciones a implementar para el estudio de integración y productividad de la cadena de suministro.
2. Describir la metodología para el estudio de productividad mediante el uso de Análisis Envolvente de Datos e Índice de Productividad de Malmquist.
3. Realizar las experimentaciones computacionales del modelo planteado en la fase anterior.
4. Analizar los resultados a fin de determinar un índice de productividad para cada una de las situaciones planteadas en el esquema de experimentaciones.
5. Generar un informe sobre la incidencia de la integración de la cadena de suministro y el rendimiento.

## **1.9 GLOSARIO**

**PRODUCTIVIDAD:** la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos: cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema. En realidad la productividad debe ser definida como el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de producto utilizado con la cantidad de producción obtenida.<sup>1</sup> (Casanova, 2002)

**CADENA DE SUMINISTRO:** es un sistema logístico macro, uni o multi-organizacional que maneja uno o varios productos por medio de operaciones conjuntas a lo largo del ciclo logístico. Cada uno de los integrantes de la cadena se conoce como eslabón. (Kalenatic et al. 2009)

**LOGÍSTICA:** El Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) la define como: Proceso de planear, implantar y controlar procedimientos para la transportación y almacenaje eficientes y efectivos de bienes, servicios e información relacionada, del punto

de origen al punto de consumo con el propósito de conformarse a los requerimientos del cliente. Es decir la logística es definida como el conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribución.

**SISTEMA LOGÍSTICO:** Se define como sistema logístico al conjunto de sistemas de apoyo que interactúan con los sistemas centrales y con el entorno de la organización, a fin de apoyar las operaciones y generar ventaja por medio de intercambios de materia, energía e información que se realizan entre estos en los ámbitos interno, local, regional o global, a lo largo del ciclo logístico. (Kalenatic et al. 2009)

**CICLO LOGÍSTICO:** Es la forma de operar o llevar a la práctica la logística en la empresa (Kalenatic et al. 2009)

**CONFIGURACIÓN:** Perturbación de los elementos del sistema orientadas a satisfacer un conjunto de requisitos funcionales y objetivo (s) para el producto. (Nadler. 1970)

## **2. INTEGRACIÓN, COLABORACIÓN Y PRODUCTIVIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTROS: ANÁLISIS DE EVIDENCIA**

Hoy en día es fundamental que las organizaciones tengan relación de cooperación con los demás miembros de la cadena de suministro para las necesidades de respuesta a los clientes y las demandas del mercado. Así, el nivel de competitividad de la organización está influenciado por las actividades de los otros elementos del sistema logístico. La cadena de suministro incluye todos los flujos de material e información desde los proveedores, a través del valor de adición de los procesos y canales de distribución, a los clientes (Stevens, 1989). En los últimos años, la competencia es entre las cadenas de suministro en vez de empresas como unidad. Es decir, las empresas deben ser conscientes de su integración con proveedores y clientes, así como concentrarse en sus actividades internas.

En esta revisión, se examinará la influencia de la integración de la cadena de suministro en el rendimiento y productividad de la misma y analizar la evidencia empírica en relación con esta cuestión fundamental para la logística y gestión de la cadena de suministro. Se analizaron 196 publicaciones, entre revistas (186) y libros destacados (12) en la cadena de suministro y gestión de las operaciones sin importar su fecha de publicación. El uso de un marco multidimensional para ordenar, clasificar los trabajos seleccionados y determinar los resultados estructurados se proporcionan con el fin de contribuir a la discusión de la temática a analizar. El estudio no se limita a un determinado nivel de integración sino que se analizan los diferentes grados de integración de la cadena de suministro, tampoco a una organización en particular focal (plantas de producción, clientes o proveedores) o una práctica de integración.

## 2.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se explicará cómo se realizó la selección de revistas y documentos y, en segundo lugar, se presenta el marco multidimensional utilizado para su clasificación.

**2.1.1 Revisión de la literatura como un enfoque de investigación.** El propósito de la revisión de la literatura no es hacer una síntesis clásica de lo que se ha publicado sobre la integración de la cadena de suministro y su contribución a la mejora del rendimiento. Más bien se quiere contribuir a la construcción de teorías a través de un análisis riguroso, sistemático y en profundidad de cómo los estudios anteriormente desarrollados en Integración de la Cadena de Suministro se han llevado a cabo. Se ha afirmado que la ciencia administrativa debe ser útil para los administradores que deseen mejorar el rendimiento de sus organizaciones y que, por lo tanto, necesitan saber si la integración de la cadena ayudará. Esto es tanto más importante cuanto que, la integración es una palabra clave en la logística diaria y la gestión de la cadena de suministro.

**2.1.2 Selección de publicaciones y documentos a analizar.** Para la selección de revistas especializadas en investigación de la cadena de suministro se utilizaron las bases de datos como: Business Source Premier, Emerald Management, Host EBSCO, Science Direct (Elsevier) e ISI Web of Knowledge. Como resultado se encuentran artículos de las siguientes revistas:

**Tabla 1. Revistas para el desarrollo de la revisión**

Revista	Número de artículos	Años
Accounting, Organizations and Society.	1	2012
Addison-Wesley Professional.	1	2001
Administrative Science Quarterly.	1	2007
Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics.	1	2007
Automation in Construction.	1	2010
Biosystems Engineering.	1	2011

Tabla 1 (continuación)

	1	1996
British Journal of Management.		
Business Horizon.	2	2004, 2012
Business Process Management Journal.	2	2001, 2005
California Management Review.	1	2002
Computer Sciences Corporation Report	1	2003
Computers & Chemical Engineering	1	2012
Computers in Industry.	1	2010
Decision Sciences.	1	2002
Decision Support Systems	4	2007, 2010
Engineering Management, IEEE Transactions on.	1	2005
European Journal of Operational Research.	2	2004
European Journal of Purchasing & Supply Management.	3	1994, 1998, 2001
Expert Systems with Applications.	4	2008, 2011, 2012
Industrial Management & Data Systems.	2	1996, 2001
Industrial Marketing Management.	5	2000, 2004, 2006, 2012
Integrated Manufacturing Systems.	1	2003
International Journal of Business and Management.	1	2011
International Journal of Integrated Supply Management.	1	2004
International Journal of Information Management.	1	2011
International Journal of Logistics and Transport.	1	2011
International Journal of Logistics Management	13	1997, 1999, 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011
International Journal of Manufacturing Technology and Management.	1	2000
International Journal of Operations & Production Management.	19	1998, 1999, 2000, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012



Tabla 1. (continuación)

International Journal of Physical Distribution & Logistics Management.	12	1989, 1994, 1996, 1998, 2002, 2005, 2007, 2008, 2009, 2011
International Journal of Production Economics.	22	1997, 1999, 2005, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012
International Journal of Production Research.	4	1999, 2004, 2009
International Journal of Retail & Distribution Management.	1	2007
Journal of Academy of Marketing Science.	1	2004
Journal of Business Logistics.	4	1998, 2001, 2006
Journal of Manufacturing Science and Technology.	1	2010
Journal of Manufacturing Technology Management.	1	2006
Journal of Operations Management.	22	2000, 2001, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2010, 2011
Journal of Product Innovation Management.	1	2003
Journal of Purchasing and Supply Management.	3	2003, 2004, 2006
Journal of Supply Chain Management.	1	1998
Journal of Strategic Information Systems.	2	2011
Logistics Information Management.	1	1995
Materials Management and Distribution.	1	2000
MIT Sloan Management Review	1	2008
Procedia - Social and Behavioral Sciences.	1	2011
Procedia Engineering.	1	2012
Sloan Management Review.	1	1992
Supply Chain Management: An International Journal.	23	1995, 1997, 2001, 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012
Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.	2	2005, 2013
World Development.	1	2011

Sobre la base de esta selección, se realizó una búsqueda sistemática de los artículos utilizando los siguientes criterios: i. la palabra "integration o collaboration" incluida en el título, las palabras clave y/o resumen, ii. la palabra "supply chain management" incluida en el título, las palabras clave y/o el resumen, iii. La palabra "supply chain performanace" incluida en el título, las palabras clave y/o el resumen.

**2.1.3 Enfoques de las investigaciones.** Las investigaciones cuantitativas constituyen, la mayoría (135 trabajos) de las cuales se encuentran entre las metodologías más implementadas la modelación de diferentes practicas integradoras (57 investigaciones), las encuestas y las estadísticas descriptivas de diferentes sectores de la economía de diversos países (37 trabajos). Los otros 47 artículos trabajan sobre una base cualitativa, mediante el uso de mapas conceptuales o revisiones de literatura.

Ente los 182 artículos seleccionados para el presente estudio 107 incluyen el termino integración ya sea en el titulo o en resumen; 87 hacen referencia a mediciones realizadas bajo el concepto de supply chain management (SCM), de estos 15 incluyen referencias en su contenido a la integración de la cadena como una práctica de gestión de la misma; 45 artículos hacen referencia mediciones de rendimiento de la cadena mediante alguna práctica integradora y 24, sobre la gestión de la cadena de suministro (SCM) y el rendimiento; 8 trabajos combinan en su contenido la integración y la colaboración de la cadena de suministro mientras que 10 investigaciones expresan en su contenido SCM y colaboración; 6 investigaciones concluyen que la integración es un proceso de confianza entre los diferentes actores de una cadena de suministro; 3, enfocan la integración como una práctica coordinada de actividades; 31 artículos expresan que la integración de la cadena se logra mediante el intercambio de información entre los integrantes de la cadena.

La evidencia empírica resultado de esta investigación indica que no siempre la integración de la cadena mejora su rendimiento (Fabbe-Costes y Jahre , 2007; van der Vaart y van Donk, 2008; Fabbe-Costes y Jahre, 2008; Richey Jr. Et al., 2009; Estampe, et al., 2010; Gimenez, et al., 2012). Además se encuentran diferentes definiciones y medidas de la integración de la cadena de suministro y su rendimiento, de igual forma se busca aclarar los conceptos de integración y cooperación para encontrar diferencias que puedan ayudar en la construcción teórica más precisa de estos conceptos. Las conclusiones de la

presente revisión de la literatura proporcionan una base desde la que se puede seguir desarrollando la presente investigación en el impacto de la integración y la eficiencia y productividad de la cadena de suministro, tanto con respecto a los enfoques de investigación, las definiciones de los principales conceptos y la elección del fundamento teórico.

## **2.2 INTEGRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO**

El foco central de la primera parte de la revisión de la literatura es el concepto de integración de cadena de suministro (SCI). Según Flynn, et al. (2010) la integración de la cadena es el grado en que un fabricante estratégicamente colabora con sus socios de la cadena de suministro y gestiona los procesos de colaboración intra e inter-organizacionales, con el fin de lograr los flujos de efectivo y eficiente de productos y servicios, información, dinero y decisiones, para aportar el máximo valor al cliente. La investigación existente sobre SCI, sin embargo, se caracteriza por la evolución de las definiciones y dimensiones (Van der Vaart y Van Donk, 2008). Existe una gran cantidad de investigaciones sobre las relaciones de la cadena de suministro unidimensionales (Paulraj et al, 2008; Mabert y Venkataramanan, 1998; Spekman et al, 1998;.. Fawcett y Magnan, 2002), otros se centran en las relaciones diádicas con los socios de la cadena de suministro (Lee y Whang, 2001) y otros, en la gestión de una cadena de suministro como un sistema único (Vickery et al, 2003; Naylor et al, 1999; Bowersox y Morash, 1989; Hammer, 1990; Stevens, 1989). Otros autores identifican la SCI basado en los aspectos o capas que han sido o deben ser integrados. En la tabla 2 se identifican cuatro capas de integración.

De igual forma en la literatura se identifican tres "capas de confusión" con respecto a la integración de la cadena de suministro. La primera capa es el rango del concepto de integración, algunos autores incluyen la integración interna, otros sólo se centran en la integración externa. La segunda capa se centra en las diferentes prácticas de integración de la cadena. Por último, el mundo académico se suma a la confusión en torno al concepto de integración de la cadena de suministro, centrándose en una selección de pequeñas áreas de la integración de la cadena de suministro. Las tres capas pueden aumentar si se tienen en cuenta que el concepto de integración de la cadena de

suministro no se conoce bien. La literatura carece de una visión común y universal de integración de la cadena de suministro. La confusión en torno al tema integración de la cadena de suministro también refleja los diferentes puntos de vista de la gestión de la cadena de suministro por parte de diferentes investigadores.

**Tabla 2. Capas de integración de la cadena de suministros**

CAPA	AUTORES
Integración de los flujos de información física	van Hoek (1998); Narasimhan y Kim (2001); Yu, et al. (2001); Narasimhan y Nair (2005); Gunasekaran y Ngai (2004); Bagchi, et al. (2005); Carr y Kaynak (2007); Zhou y Benton (2007); Sezen (2008); Wang, et al. (2008); Cai, et al. (2010); Jayaram y Tan (2010); Lau, et al. (2010); Koçoğlu, et al. (2011); Ding, et al. (2011); Yanhuia y Xiana (2012); Fayard, et al. (2012)
Integración de los procesos y actividades	Birou, et al. (1998); Lambert y Cooper (2000); Stank, et al. (2001); Petersen, et al. (2005); Kim (2006); Potter, et al (2007); Koufteros, et al. (2007); Wang, et al. (2010); Huang y Ye (2010); Scholz-Reiter, et al. (2010); Parente, et al. (2011); Wu (2011)
Integración de las tecnologías y sistemas	Yusuf y Little (1998); Mejías-Sacaluga y Prado-Prado (2002); Ragatz, et al. (2002); Closs y Savitskie (2003); Chae, et al. (2005); Jonsson y Gunnarsson (2005); Devaraj, et al. (2007); Pålsson y Johansson (2009); Lin, et al. (2010); de la Fuente, et al. (2010); Schubert y Legner (2011); Cheung, et al. (2012); Prajogo y Olhager (2012)
Integración de los actores	Frohlich y Westbrook (2001); Petersen, et al. (2003); Wagner y Johnson (2004); Zailani y Rajagopal (2005); Zhao, et al. (2008); Mortensen y Lemoine, (2008); Cheng, et al. (2010); So y Sun (2010); Kannan y Tan (2010); Wong, et al. (2011); Suzuki, et al. (2011); Lam e Ip (2011)

Esta investigación también representa la comprensión del autor y el alcance del concepto de integración de la cadena de suministro. Un objetivo principal de este capítulo fue identificar las deficiencias actuales, desarrolladas en la tabla 3, y por lo tanto las áreas que requieren mayor investigación.

**Tabla 3. Concepto de integración de la cadena de suministros**

DEFINICIÓN	AUTOR
Intercambio de conocimientos e información entre los miembros de la cadena de suministro	Mouritsen et al. (2003)
Coordinar actividades operacionales compartidas como el flujo de avance físico de las entregas entre proveedores, fabricantes y clientes	Frohlich y Westbrook (2001)
Integración de los procesos básicos a través de los límites organizacionales para dar mejor comunicación, asociaciones, alianzas y cooperación.	Power (2005)
Proceso de interacción y colaboración en el que las empresas en la cadena de suministro de trabajar juntos de manera cooperativa para llegar a resultados mutuamente aceptables	Pagell (2004)
La posibilidad de igualar la oferta y la demanda, y por lo tanto reducir la posibilidad de excesos de inventario o la escasez, mediante la respuesta rápida y eficiente al consumidor al integrar las operaciones de los miembros de la cadena de suministro	Yao, et al. (2007)
Serie conectada de actividades que tiene que ver con la planificación, la coordinación y el control de materiales, componentes y productos terminados desde el proveedor hasta el cliente.	Stevens (1989)
Grado en el que un fabricante estratégicamente colabora con sus socios de la cadena de suministro y gestiona los procesos de colaboración intra e inter-organización.	Flynn, et al. (2010)

La integración de las cadenas de suministro ha sido objeto de considerable debate y discusión dentro de la academia (Mouritsen et al, 2003; Frohlich y Westbrook, 2001; Stevens, 1989; Disney & Towill, 2003). La integración de la cadena de suministro se origina desde una perspectiva sistémica (Christopher, 1998), donde la optimización del conjunto, logre un mejor rendimiento que una serie de sub-sistemas optimizados. El argumento es que a través de la integración, las compensaciones y las decisiones se pueden hacer sobre la base de información compartida y la coordinación (Frohlich y Westbrook, 2001; Lambert, & Cooper, 2000; Pagell, 2004; Romano, 2003; Sabath, 1995; Spekman et al, 1998;. Wong & Boon-Iltt, 2008). Por lo tanto, la investigación sobre la integración de la cadena de suministro es un área de fundamental importancia para la investigación actual. Sin embargo, a pesar de más de 20 años de publicaciones

académicas sigue existiendo una brecha importante entre la teoría y la práctica de la cadena de suministro, muchos eruditos señalan que pocas empresas están realmente comprometidos en las prácticas extensivas integración de la cadena de suministro (Akkermans et al, 1999; Childerhouse, et al, 2008; Kilpatrick y Factor, 2000; Disney y Towill, 2003). Varios autores hablan del concepto de integración de la cadena de suministro estudiado desde incertidumbre tiene un mayor grado de aplicabilidad (van der Vorst, et al., 2002; Lee, 2002; Wong C. Y. & Boon-Itt, 2008; Wong, et al. 2011; Longinidis, & Georgiadis, 2011). A pesar de las diferencias entre definiciones y enfoques de la integración de la cadena de suministro la evidencia de la revisión indica que el objetivo de esta es lograr flujos efectivos y eficientes de los productos y servicios, información, dinero y decisiones, para aportar el máximo valor a los clientes a bajo costo y alta velocidad (Bowersox et al., 1999; Frohlich y Westbrook, 2001; Flynn, et al. 2010).

El desarrollo de medidas comparativas de la madurez de integración de cadena de suministro se ve complicada por la variedad de las cadenas de suministro que se encuentran en la práctica, los contextos operativos en los que se desarrolla la integración, y el complejo de múltiples funciones, múltiples organizaciones (Netland, et al 2008; Childerhouse, et al. 2011; Böhme, et al. 2011). Sin embargo, un creciente número de investigadores, como se mencionó anteriormente, han comenzado a utilizar la incertidumbre como un medio de comparación para la evaluación y elaboración de conceptos de cadena de suministro (van der Vorst y Beulens, 2002; Böhme, et al 2011; Van Donk & van der Vaart, 2005; Wong & Boon -ITT, 2008; Lee, 2002; y Sun et al, 2009, Wong, et al. 2011; Longinidis, & Georgiadis, 2011). Son otros los autores que han identificado la necesidad de gestionar, minimizar y eliminar las incertidumbres de sus negocios con el fin de aumentar el control y la coordinación y mejorar la eficacia de sus procesos de decisión (Chopra y Meindl, 2007; Bosona & Gebresenbet, 2011; Ding, et al. 2011). Esto también es válido en un contexto de cadena de suministro como Christopher (2005) explica: "Una de las razones principales por las que una empresa realiza el inventario de seguridad es debido a la incertidumbre" (p. 51). Este punto se enfatiza aún más por Bowersox et al., (2002) cuando afirman, "un objetivo básico de desempeño logístico general es reducir al mínimo la varianza" (p. 164). Por último, de acuerdo con Lee (2002) "es necesario entender las fuentes de las incertidumbres subyacentes y

explorar formas de reducir estas incertidumbres" (p. 107). Así, este enfoque de estudio parece tener mayor validez en los últimos años

## **2.3 ANTECEDENTES DE LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS E INTEGRACIÓN**

Desde su introducción en la década de 1980, la gestión de la cadena de suministro (SCM) se ha convertido en uno de los conceptos más populares dentro de la gestión en general (La Londe, et al 1994) y dentro de la logística en particular (Christopher, 1998; Chopra & Meindl, 2007; Wisner, et al. 2008; Subramanian, et al. 2012). La literatura ofrece una serie de definiciones de SCM (Mentzer et al, 2001; McAdam y McCormack, Suhong, 2002; Li, et al, 2005; Halldorsson, et al. 2007), la mayoría de los cuales están relacionados con la integración: "todo el concepto de SCM se basa en la integración de verdad" (Pagell, 2004, p 460.). La integración de las cadenas de suministro se considera de importancia estratégica, así como de funcionamiento (Bechtel y Jayaram, 1997; Christopher, 1997; Lambert et al, 1998; Frohlich y Westbrook, 2001; Fawcett y Magnan, 2002; Zailani y Rajagopal, 2005; van der Vaart, y van Donk, 2008; Flynn, et al. 2010). En la investigación, así como en la práctica, a menudo se cree que la integración es mejor (van Donk y van der Vaart, 2004; Power, 2005; Subramanian, et al. 2012) y se dice que ha sido ampliamente discutida y apoyada sobre una base empírica (Cagliano et al., 2006, p. 284).

**2.3.1 Integración y Gestión de la cadena.** En la literatura se encuentran varias nociones de integración basada en conceptos como: estrategia de compra integrada (van Donk y van der Vaart, 2004; Paulraj, et al. 2006; Cousins y Menguc, 2006; Narasimhan y Nair, 2005), logística integrada (van Hoek, 1998; Häkkinen, et al. 2004; Gimenez y Ventura, 2005), la integración de proveedores (Petersen, et al. 2006; Wagner y Johnson, 2004; Kannan y Tan, 2010), compradores y alianzas con proveedores (Fawcett y Magna, 2002; Paulraj, 2006), gestión de base de proveedores, (Goffin, et al. 2006), la sincronización de la cadena de suministro (Romano, 2003; Danese y Romano, 2011) y gestión de cadena de suministro (Mouritsen, et al. 2003; Power, 2005; Harland, 1996; Themistocleous, et al. 2004; Jaehne, et al. 2009; Liu, et al. 2012). La gestión de la cadena

de suministro es el concepto más utilizado (pero abusado) para describir esta filosofía. Desafortunadamente, no hay una descripción explícita de la gestión de la cadena de suministro o de sus actividades en la literatura. Por ejemplo, Harland (1996) describe la gestión de la cadena de suministro como gestión de las actividades de negocios y las relaciones (1) internamente dentro de una organización, (2) con los proveedores inmediatos, (3) con los proveedores. Según lo definido por Lambert y Cooper (2000), "es la integración de los procesos de negocio clave de usuario final a través de proveedores originales que proporcionan productos, servicios e información que agregan valor para los clientes y otras partes interesadas". Desde esta perspectiva, la integración de procesos de negocios dentro y fuera de las fronteras de la organización es un elemento central de la gestión de la cadena de suministro.

Cuando la gestión de la cadena de suministro se integró a partir de los dos puntos de vista en un cuerpo común de conocimientos que abarca todas las actividades de valor agregado en la cadena de valor, los investigadores se dieron cuenta de la importancia de la incorporación de la gestión de la cadena de suministro en el proceso general de planificación empresarial (Harland et al., 1999).

Una cadena de suministro puede ser descrita como una red de relaciones o conexiones entre los socios, tales como proveedores y clientes. Gunnarsson y Jonsson (2005) han visto una mayor colaboración entre los socios de una cadena de suministro como un elemento significativo en la mejora de la gestión de la cadena. Kalakota y Robinson (2001) sugieren que las mejoras significativas en la gestión de la cadena de suministro se pueden lograr a través de la integración de procesos empresariales y flujos de información de los socios comerciales. Para lograr estas mejoras, muchas compañías han implementado la estrategia denominada Supply Chain Integration (SCI) (Bowersox et al., 1999). En las últimas décadas, ha habido una necesidad de las empresas a buscar fuera de sus organizaciones las oportunidades de colaborar con los asociados para asegurar que la cadena de suministro sea eficiente y responda a las necesidades dinámicas del mercado (Cao y Zhang, 2011). Las empresas se han esforzado para lograr una mayor



colaboración en la cadena de suministro para aprovechar los recursos y el conocimiento de sus proveedores y clientes (Fawcett y Magnan, 2004; Lejeune y Yakova, 2005). Algunos de los beneficios que están asociados con la integración de los sistemas de la cadena de suministro incluyen (a) obtener una ventaja competitiva, (b) la reducción de los costes operativos y (c) el logro de una mejor colaboración y coordinación entre los socios de la cadena de suministro (Themistocleous et al. 2004).

La literatura ha citado la importancia de SCI en la consecución de una ventaja competitiva (Lee y Billington, 1992; Zhao et al., 2008) y la mejora del rendimiento (Ahmad y Schroeder, 2001; Frohlich, 2002; Bowersox, et al., 1999; Zhao et al, 2008; Paulraj et al. 2006; Estampe, et al. 2010; Cao y Zhang, 2011). Sin embargo, estas afirmaciones son aún muy limitadas, dado que se han estudiado los factores que influyen en las relaciones entre empresas desde la perspectiva costos (Caputo y Mininno, 1996; Ragatz, et al. 2002; Fliess y Becker 2006; Goffin, et al 2006; Guan y Rehme, 2012), comunicación (Cousins y Menguc, 2006; Collin, et al. 2009), del compromiso de las relaciones (Spekman, et al 1995; Fawcett y Magnan, 2004; Matopoulos, et al. 2007; Sanders, 2007; Singh y Power, 2009; Flynn, et al. 2010; Wiengarten, et al. 2010; Nyaga, et al. 2010; Cao y Zhang, 2011;), transporte (Potter, et al. 2007; Stank y Goldsby, 2001), transferencia de datos (Ahmad y Schroeder, 2001; Jonsson y Gunnarsson, 2005; Devaraj, et al. 2007; So y Sun 2010; Schubert y Legner, 2011) pero aún no se ha evidenciado la incorporación de estas perspectivas en demostrar esas ventajas competitivas y mejoras del rendimiento de las empresas.

La integración de la cadena de suministro es un reto importante para la disciplina de gestión de operaciones y la práctica. Muchas de las mejoras dentro de las redes de suministro son gracias a los avances en las áreas de la comunicación y la tecnología de la información, en las cuales se basa la integración de los sistemas de apoyo. A pesar de las posibilidades de mejora, todavía hay muchas preguntas por responder en relación con el concepto de integración (van Donk y van der Vaart, 2005).

La investigación existente sobre SCI, sin embargo, se caracteriza por la evolución de las definiciones y dimensiones (Van der Vaart y Van Donk, 2008; Flynn, et al. 2010). Mientras que algunos se centra en las dimensiones individuales de SCI (Cousins y Menguc, 2006; Homburg y Stock, 2004; Koufteros, et al, 2007), en el cliente en particular y la integración de proveedores, otros utilizan diferentes definiciones combinadas (Cagliano, et al, 2006; Rosenzweig, et al., 2003; Vijayasarathy, 2010). Además, muchas conceptualizaciones de SCI son incompletas, dejando de lado el importante vínculo central de la integración interna (Flynn, et al. 2010). Estas conceptualizaciones incompletas y en evolución han dado lugar a resultados contradictorios sobre la relación entre el SCI y el rendimiento (Devaraj, et al, 2007; Droge, et al. 2012; Germain y Iyer, 2006; Das et al, 2006;.. Stank et al, 2001). La determinación de los antecedentes y las consecuencias de rendimiento de integración de cadena de suministro es un elemento clave de la gestión de la investigación reciente cadena de suministro (Droge, et al. 2012).

Narasimhan y Kim (2001) señalan que gran parte de la investigación sobre la integración se ha basado en la suposición de que la integración se produce en distintas etapas secuenciales. Posiblemente la obra más influyente en relación con un proceso por etapas es por Stevens (1989), quien sugiere que las empresas siguen un proceso de integración que pasa por diferentes etapas: la integración interna antes del proceso de integración para incluir a otros miembros externo de la cadena de suministro (Stevens, 1989). La evidencia empírica, (Towill et al, 2002; Koufteros et al, 2005) y la investigación estudio de caso (Giménez, 2004) apoyan el modelo conceptual desarrollado por Stevens pero no hay claridad de cómo se debe llevar a cabo este proceso, partiendo desde la misma definición de integración como se evidenció anteriormente. Como no hay una definición generalmente aceptada de la gestión de la cadena de suministro o de sus actividades en la literatura (New, 1997; Bechtel y Jayaram, 1997; Croom y Cols, 2000; Tan, 2001), lo mismo vale para las cadenas de suministro integradas.

El concepto de integración en las cadenas de suministro no está todavía bien definido (Tan, 2001; Frohlich y Westbrook, 2001; van Donk, y. van der Vaart, 2005), La mayoría de los conceptos de integración de la cadena se reconoce explícitamente la existencia de dos flujos a través de la cadena, hay un flujo de bienes y un flujo de la información

(Fawcett y Magnan, 2002; Pagell, 2004; Power, 2005; Böhme, et al 2011; Flynn, et al. 2010). De la literatura sobre gestión de la cadena de suministro (SCM), está claro que la integración está estrechamente relacionada con la realización de actividades en varias áreas, en cooperación con otras organizaciones en una cadena. Diferentes áreas y direcciones diferentes para la integración se han mencionado por expertos (Stevens, 1989; Frohlich y Westbrook, 2001; Romano, 2003; Childerhouse y Towill, 2003; Jaehne, et al. 2009; Jüttner, et al. 2010; Liu, et al. 2012; Subramanian, et al 2012). Es claro que la integración de la cadena de suministro debe comprender tanto la información y el material, y no puede limitarse a una sola. La eliminación de barreras o límites entre las organizaciones parece ser la cuestión crucial en SCM (Romano, 2003; Naylor et al, 1999; Giménez, 2004; Frohlich, 2002; Richey Jr, et al. 2009; Katunzi, 2012). Esto puede lograrse mediante el desarrollo de actividades integradas en una serie de áreas (alcance) y con una cierta intensidad (nivel) en cada una de estas áreas. La distinción entre esos dos aspectos de la integración da una herramienta viable y pragmática para describir la integración de la cadena de suministro (van Donk, y. van der Vaart, 2005).

De esta manera se estipula que el objetivo de la estrategia de la cadena de suministro integrada es la creación de procesos de fabricación y funciones de logística a través de la cadena de suministro como un arma efectiva de competencia que no se pueden duplicar fácilmente por los competidores (Anderson y Katz, 1998; Birou et al, 1998; Lee y Billington, 1992, Tan, 2001; Childerhouse, et al. 2011; Danese, et al 2013). Una cadena de suministro bien integrada, que implica la coordinación de los flujos de materiales e información entre proveedores, fabricantes y clientes (Tan, 2001; Lin ,et al. 2010; de la Fuente,et al. 2010; Koçoğlu,2011; Prajogo, 2012, Yanhuia y Xiana, 2012; ), y la aplicación de la postergación del producto y la personalización en masa en el suministro de la cadena (Lee y Billington, 1998; Pagh y Cooper, 1998; Van Hoek et al, 1998; Scholz-Reiter, et al. 2010; Parente, et al, 2011). Un mayor nivel de integración con proveedores y clientes en la cadena de suministro se espera que resulte en una cadena más competitiva y efectiva (Wagner y Johnson, 2004; Hines et al, 1998, Tan, 2001; Collin, et al. 2009).

Sin embargo, hay poca controversia sobre los objetivos de la gestión de la cadena de suministro y la integración. Naylor et al. (1999) afirman que el objetivo de una cadena de suministro integrada es eliminar todas las barreras para facilitar el flujo de material, dinero en efectivo, recursos e información. Muchas de las iniciativas en el ámbito de la gestión de la cadena de suministro y gestión de operaciones se dirigen hacia el remover estos límites, o más generalmente la eliminación de barreras (van der Vaart, van Donk, 2004).

Los niveles más altos de integración se caracterizan por el aumento la comunicación, una mayor coordinación de las actividades logísticas de la empresa con los de sus proveedores y clientes (Petersen, et al. 2005; Wagner y Johnson, 2004; Kannan y Tan, 2010). La coordinación, la colaboración y la cooperación se utilizan a menudo más o menos indistintamente para describir los esfuerzos de integración entre los socios para mejorar la eficiencia global de la cadena de suministro (Stevens, 1989; Spekman, et al. 1995; Romano, 2003; Holweg y Pil, 2008; Matopoulos et al, 2007; Holweg, M., Pil, 2008; Singh y Power, 2009; Kotzab, et al. 2011; Cao y Zhang, 2011), como por ejemplo la colaboración en planificación, previsión y reabastecimiento (Danese, 2006), compartir información, incentivos, toma conjunta de decisiones (Wiengarten, et al. 2010). La integración de la cadena se define en general como un proceso de redefinición y la conexión a través de la coordinación de las entidades o de compartir información y recursos (Katunzi, 2011).

La integración de la logística se refiere a las prácticas específicas de logística y las actividades operativas que coordinan el flujo de materiales desde los proveedores a los clientes a través de la cadena de valor (Stock et al., 2000). Logística ofrece a las empresas industriales utilidades de tiempo y espacio, al proporcionar la cantidad necesaria de bienes en el lugar correcto en el momento adecuado (La Londe, et al., 1994; Caputo y Mininno, 1998; Power, 2005; Pagell, 2004; Halldorsson, et al. 2007). La construcción teórica de la integración logística se deriva de incluir la integración de la función logística de los socios de la cadena de suministro (Childerhouse y Towill, 2003). Integración de la información se refiere a la puesta en común de información clave a lo largo de la red de cadena de suministro que se encuentra habilitada por la tecnología de

la información (TI) (Gunasekaran y Ngai, 2004; Devaraj, 2007). Uno de los propósitos principales de la integración de la información es lograr la transmisión en tiempo real y procesamiento de la información necesaria para la toma de decisiones la cadena de suministro. Lee et al. (2000) muestran que el intercambio de información puede llevar a un menor costo a través de reducciones en los inventarios y la escasez. Sin embargo, para darse cuenta de este valor, varios cambios en el sistema de logística son requeridos, como los programas de gestión de inventario por proveedor (VMI), que conllevan a las reducciones del tiempo, la reducción de la cantidad ordenada y entregas más frecuentes (Disney y Towill, 2003; Danese, 2006; Huang y Ye 2010).

A la luz del concepto de integración de la cadena de suministro, la logística y la integración de la información inicialmente reflejan dos formas interrelacionadas de integración que fluyen en direcciones opuestas (es decir, hacia adelante y hacia atrás, respectivamente). Integración hacia delante tiene que ver con los flujos físicos de materiales de los proveedores a los fabricantes de los que nos referimos a la integración de la logística. Por otro lado, la integración hacia atrás se ocupa de la coordinación de las tecnologías de la información y los flujos de información de los fabricantes a los proveedores.

La creciente competencia ha llevado a las empresas no sólo a mejorar sus operaciones internas (por ejemplo, control de procesos y gestión de inventario), también se centran en la integración de sus proveedores y clientes en los procesos de la cadena global de valor. (La Londe, et al. 1994; New, 1997). La contribución de los proveedores en la entrega de valor a los clientes en la construcción de capacidades competitivas como calidad, entrega, flexibilidad y costo (Petersen, et al. 2005; Fayard, et al. 2012) ha sido ampliamente reconocida. La esencia de la integración de la logística está bien coordinado el flujo de los materiales de los proveedores que permiten a las empresas a tener un proceso de producción sin problemas (Frohlich y Westbrook, 2001; Lee, 2002; Zailani y Rajagopal, 2005). Esta coordinación produce una perfecta conexión entre empresas y proveedores de tal manera que el límite de las actividades entre las dos partes es confusa (Stock et al. 2000; Zailani y Rajagopal, 2005; Häkkinen, et al. 2004). Se ha argumentado también

que contar con la integración de logística sólida reducirá diversos problemas como el efecto látigo (Lee et al, 1997; Yu, et al. 2001; Disney y Towill, 2003; Fiala, 2005; Geary et al, 2006; Katunzi, 2011). La logística integrada también permiten a las empresas a adoptar sistemas de producción ajustada que se caracterizan por ciclos de pedidos y reducción de inventarios fiables (Cagliano et al, 2006;. Netland, et al., 2007; Huang y Ye, 2010; Lam & Ip, 2011). En general, la integración de la logística permite a las empresas y sus socios de la cadena de suministro para actuar como una sola entidad que se traduciría en un mejor desempeño en toda la cadena (Tan et al., 2001). En otras palabras, a través de la integración de la logística, las empresas pueden tener los beneficios potenciales de la integración vertical como son calidad, seguridad, planificación y control, y reducir los costos, sin tener en el sentido físico (La Londe y Masters, 1994; Suzuki, et al. 2011). Al mejorar la integración logística entre los socios de la cadena de suministro se obtiene un número de ventajas operativas, incluida la reducción de los costes, tiempo de entrega (Wang, et al., 2008), y los riesgos (Suzuki, et. al., 2011) así como la mejora en las ventas, los niveles de distribución, servicio al cliente y servicio y satisfacción del cliente (Danese, et al., 2013; He y Lai, 2012, Koçoğlu, et al., 2011; Kim, 2009).

La mayoría de los estudios empíricos sobre la integración de la cadena de suministro muestran una relación positiva entre la integración y el rendimiento (Stank, et al. 1999; Toni y Nassimbeni 1999; Bagchi y Skjoett-Larsen, 2003; Zailani y Rajagopal, 2005; Germain & Iyer, 2006; Chen, et al. 2007; Van der Vaart y van Donk, 2008; Kim, 2009; Fabbe-Costes y Jahre, 2008; Richey Jr, et al. 2009; Prajogo y Olhager, 2012; Jayaram y Tan, 2010; Boon-itt y Wong, 2011; McCarthy-Byrne y Mentzer, 2011; Turkulainen y Ketokivi, 2012; Gimenez, et al. 2012; Coronado, et al. 2011; He y Lai, 2012). Frohlich y Westbrook (2001) encontraron que los mayores arcos de integración tenía la asociación más fuerte con la mejora del rendimiento, Sheu et al. (2006) encontraron los mayores niveles de colaboración en el resultado de la eficiencia operativa en el sistema de cadena de suministro y, finalmente, Sun, et al. (2009) encontraron que la integración de la cadena de suministro está significativamente relacionada con la estrategia de suministro.

**2.3.2 integración y tecnologías de información.** Como Frohlich y Westbrook (2001) sugieren, el flujo de materiales de aguas arriba a aguas abajo de las entidades (hacia adelante) de la cadena de suministro debe ser apoyado por el flujo de información desde aguas abajo hacia aguas arriba (hacia atrás). Sobre la base de cinco estudios de caso de las parejas proveedor-minorista, Sheu et al. (2006) encontraron que la mejora de las capacidades de la tecnologías de la información, así como una mejor comunicación, contribuyen a una mejor plataforma para ambas partes al entablar la falta de coordinación, participación y actividades de resolución de problemas. Así, tanto la tecnología de la información y el intercambio de información puede ser vistas como antecedentes para la integración del flujo de materiales (Vijayasarathy, 2010). La presente revisión de la literatura referente a los temas relacionados con la integración de la cadena por medio de información sugieren dos aspectos principales: los aspectos técnicos como conexión de tecnología de la información (Kalakota y Robinson 2001; Frohlich, 2002; Jonsson y Gunnarsson, 2005; Devaraj, et al. 2007; Schubert & legner, 2011; So y Sun, 2010; Ranganathan, et al. 2011), y los aspectos sociales tales como compartir información y la confianza (Bagchi y Skjoett-Larsen, 2003; Cheng, et al. 2010; Vijayasarathy, 2010; Katunzi, 2011; Delbufalo, 2012; Fawcett, et al. 2012). Por ejemplo, una serie de estudios (Narasimhan y Kim, 2001; Frohlich, 2002; Gunasekaran Y Ngai, 2004; Devaraj et al, 2007;. Sanders, 2007; Katunzi, 2011) se han centrado en la importancia de la adopción de tecnologías de comercio electrónico como un medio para la integración de la información. Otro grupo de estudios (Yu et al, 2001;. Narasimhan and Nair, 2005; Carr y Kaynak, 2007; Zhou y Benton, 2007; Sezen, 2008; Mortensen y Lemoine, 2008; Sanders, et al. 2011; van der Vaart, et al. 2012) se centraron en la importancia del intercambio de información y la comunicación entre empresas y proveedores. Sin la voluntad de compartir la información crítica relativa a la cadena de suministro, en la clara dependencia de la tecnología esta sola no hará que las empresas mejoren sus rendimientos. Sólo las empresas que son capaces de construir los aspectos técnicos y sociales de la integración de la información va a ver los beneficios máximos de la logística de integración (Chae et al, 2005;. Fiala, de 2005;. Fawcett et al, 2007).

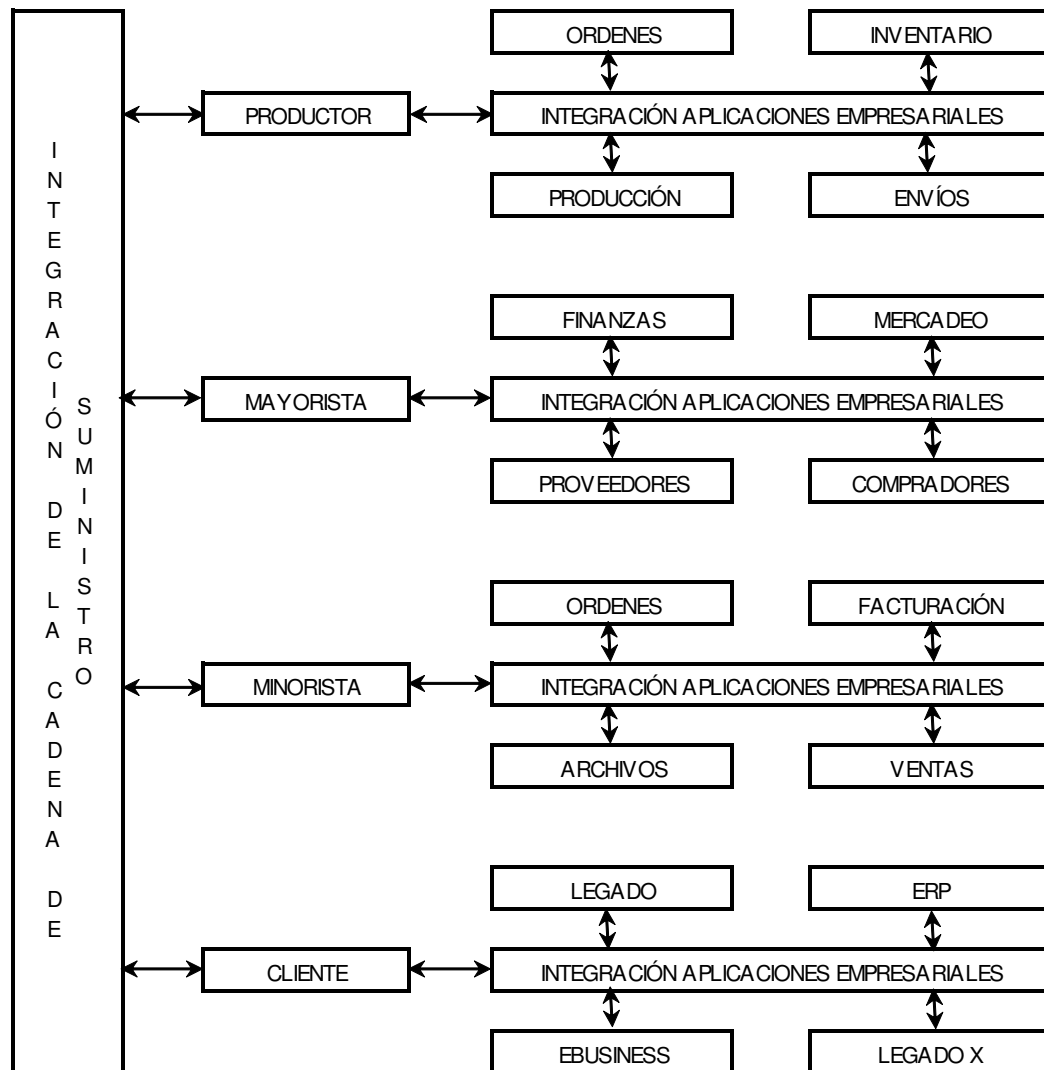
La integración de aplicaciones en tecnología es un obstáculo para muchas empresas dado que los socios de la cadena de suministro son sistemas independientes, que en

muchos casos no se pueden comunicar entre sí. Como socios de la cadena, las empresas han tendido a desarrollar sus propios sistemas de forma independiente y sin ningún tipo de coordinación (Themistocleous, 2004; Danese, 2006). Sin embargo, esta estrategia puede resultar en una falta de arquitectura de la empresa, las definiciones comunes, estructuras, protocolos y conceptos de negocios (Gunasekaran y Ngai, 2004). Esto se complica aún más por los sistemas de información están basados en una gran cantidad de normas diferentes, lenguajes informáticos, plataformas y sistemas operativos, que causan diversos problemas de integración, tales como la incompatibilidad (Fayard, et al 2012). Como resultado, la integración de las aplicaciones a lo largo de una cadena de suministro es una tarea difícil y compleja (Trkman, et al. 2010; Evangelista, et al. 2012).

La integración intra e inter-organizacional cada vez se logra a través de la integración de aplicaciones empresariales (EAI) que incorporan la funcionalidad de las aplicaciones dispares que conducen a la más barata, más funcionales y manejables (Themistocleous, 2004; Cagliano, et al. 2006). A medida que la demanda de integración de ambos sistemas intra-e inter-organizacional y cadenas de suministro surge, hay una necesidad de utilizar una tecnología que se ocupa de los problemas de integración de negocio y alcanza los procesos de integración. Esto se puede lograr a través de aplicaciones empresariales que se integra eficientemente la funcionalidad de los sistemas dispares de una cadena de suministro. Como se ilustra en la figura 3, los socios de la cadena de suministro, como los productores, mayoristas, minoristas y los clientes pueden utilizar la tecnología de aplicaciones empresariales, tanto a nivel dentro de la organización y entre organizaciones (Ahmad y Schroeder, 2001; Themistocleous, 2004).



**Figura 3. Integración de aplicaciones empresariales**



Fuente: adaptado de Themistocleous (2004)

El tipo de la integración constituye otro tema fundamental que debe ser abordado por las organizaciones en la toma de decisiones para la integración de sus cadenas de suministro. En base a tipos de integración de la cadena de suministro se pueden formar: (a) acoplados a las asociaciones a través de la cual comparten información, o (b) las cadenas estrechamente integradas, donde hay un mayor grado de dependencia del

proceso. Las diferencias entre los tipos de integración son muy discutidas en la literatura con Themistocleous (2004).

De esta forma la integración es un factor significativo, con un número de empresas que comparten datos y procesos comunes. Es en este caso donde las empresas intentan funcionar como una organización. En tal escenario, los proveedores y los minoristas comparten procesos comunes de negocios y de las infraestructuras de tecnología de la información. Desde una perspectiva técnica, Themistocleous et al. (2004) proponen que la integración de aplicaciones empresariales se consigue en tres capas de integración, a saber:

- Transporte de capas, que transfiere la información de la aplicación de origen para la infraestructura de integración y de éste a la aplicación de destino.
- Transformación de la capa que traduce la información de un formato de fuente de la aplicación a la estructura del sistema de destino.
- Nivel de automatización de procesos, que integra los procesos de negocio y controla el mecanismo de integración.

## **2.4 PRÁCTICAS INTEGRADORAS**

Estas son las diferentes actividades conjuntas se pueden desarrollar en distintas áreas. La mayor atención de estas dentro de la literatura sobre la gestión de la cadena de suministro parecen ser las actividades conjuntas a las actividades de compras y suministros o el transporte y la logística (Tan, 2001; Stank y Goldsby, 2001; Sanders, et al. 2011; Bosona y Gebresenbet, 2011; Gimenez, et al. 2012). Otros (Cooper et al, 1997;. New, 1997; Birou, et al. 1998; Petersen, et al. 2005; Koufteros, et al. 2007; Scholz-Reiter, et al. 2010; Parente, et al. 2011) mencionan aspectos como el desarrollo de productos y comercialización. Por otra parte, se distinguen cuatro áreas logísticas como dimensiones separadas del ámbito de aplicación: el flujo de bienes (Lee y Billington, 1992; Ragatz, et al. 2002; Disney, S.M., Towill, 2003; Danese, 2006; Pålsson y Johansson, 2009; Wang, et al. 2010; Huang y Ye, 2010; Lam & Ip, 2011), planificación y control (Stevens, 1989; Van Der Vlist, et al. 1997; van Donk y van der Vaart, 2004; Cagliano, et al. 2006; Fliess y

Becker, 2006; Vijayasathy, 2010; Subramanian, et al. 2012; Liu, et al. 2012; van der Vaart, et al. 2012; Cheung, et al. 2012) , organización (Chen y Paulraj, 2004a; Li, et al. 2005; Petersen, et al. 2005; Paulraj, et al. 2006; Zhao, et al. 2008; Gulati y Sytch, 2007; Kim, 2009; Lau, ET AL. 2010; Sanders, et al. 2011; Wong, et al. 2011; McCarthy-Byrne y Mentzer,, 2011; Fayard, et al. 2012; Delbufalo, 2012) y el flujo de la información (Lee y Whang, 2000; Yu,, et al. 2001; Bagchi y Skjoett-Larsen, 2003; Closs y Savitskie, 2003; Jonsson y Gunnarsson, 2005; Chae, et al. 2005; Fiala, 2005; Devaraj, et. al. 2007; Mortensen y Lemoine,, 2008; Gunasekaran y Ngai, 2009; So y Sun, 2010; Vijayasathy, 2010; Schubert y Legner, 2011; Koçoğlu, 2011; Prajogo y Olhager, 2012; Yanhuia y Xiana, 2012; Turkulainen y Ketokivi, 2012). Estas dimensiones se han adaptado de Van Donk (2003), y comparable al de las zonas se distinguen en el Romano (2003) y Childerhouse y Towill (2002). La Tabla 4 incluye ejemplos de prácticas de integración dentro de las cuatro áreas de logística.

**Tabla 4. Prácticas integradoras**

Dimensiones	Ejemplos de prácticas integradoras
Flujo de mercancías	Personalización de envases, contenedores comunes, gestión de inventarios por proveedor.
Planificación y control.	Conjunto de previsión y / o planificación, control de suministro de varios niveles
Organización	Asociación, cuasi-empresa, JIT II
Flujo de información	Compartir los planes de producción, EDI, Internet, de códigos de barras

Estas prácticas integradoras se pueden llevar a cabo desde las relaciones con los proveedores o los clientes.

**2.4.1 Integración con proveedores.** Integración con el proveedor sugiere que los proveedores están proporcionando información y participan directamente en la toma de decisiones (Sako, et al. 1994; Wagner y Johnson, 2004; Petersen et al., 2005). Se caracteriza por una relación de cooperación entre el comprador y el proveedor de materias primas (Yusuf y Little, 1998). A menudo, estas relaciones incorporan las iniciativas y programas que fomenten y fortalecer los vínculos entre el comprador y el proveedor (Mortensen y Lemoine, 2008; Vijayasarathy, 2010).

Tres iniciativas clave que se promocionan en la literatura son el desarrollo de proveedores, just-in-time adquisitivo (JIT), y la asociación con proveedores (Narasimhan y Nair, 2005; Jaehne et al, 2009). El desarrollo de proveedores abarca las políticas, procedimientos y prácticas para evaluar y mejorar la capacidad del proveedor y el rendimiento en varias áreas, tales como la calidad, apoyo al diseño y entrega (Gulati y Sytch, 2008; Wagner y Krause, 2009). JIT adquisitivo facilita la integración a través del uso de las entregas de los proveedores altamente coordinadas en apoyo de una estrategia global de JIT. Asociación con el proveedor son iniciativas por reunir a todos los participantes en el ciclo de vida del producto desde el proceso de desarrollo del producto para que los proveedores y los clientes pueden aportar a los procesos (Petersen et al., 2003). Cada una de las tres iniciativas encarna el intercambio de información crítica destacado por Ding, et al. (2011).

**2.4.2 Integración con clientes.** Integración al cliente abarca el flujo hacia adelante de bienes y servicios y el reflujo de la información del cliente al proveedor (Frohlich y Westbrook, 2001; Zailani y Rajagopal, 2005; Zhao, et al. 2008; Droge, et al., 2012). Integración del cliente implica dirigir la atención y los recursos hacia la comprensión de cómo los productos y procesos interactúan con el negocio y el cliente y ayudar a los clientes a ser más competitivos (Wisner et al., 2008; Singh y Power, 2009). Así, la integración del cliente implica la participación del cliente en las decisiones acerca de los productos vendidos por la empresa (Pagh y Cooper, 1998; Van Hoek et al, 1998; Fawcett y Magnan, 2004; Wisner, et al. 2008; Collin, et al. 2009; Cao y Zhang, 2011) y abarca métodos y estrategias que mejoren la coordinación entre la empresa y el cliente (Frohlich y Westbrook, 2001).

## **2.5. NIVEL DE INTEGRACIÓN**

El nivel de integración puede ser descrito como la medida en que una actividad de integración se desarrolla (Toni y Nassimbeni, 1996; Frohlich y Westbrook, 2001). El nivel de integración se aplica a cada una de las áreas presentes en el ámbito de aplicación (van der Vaart y van Donk, (2008). Como ejemplo, es evidente que un nivel bastante alto de integración se alcanza en la planificación y control en el caso de suministro de niveles múltiples (Van der Vlist et al., 1997; Bagchi, et al. 2005). Un bajo nivel de integración en esta dimensión es informar a su único proveedor acerca de sus acciones promocionales (Bagchi, et al. 2005).

Otro ángulo en la integración es en sus aspectos relacionales: La confianza mutua es una necesidad para comenzar con las actividades de integración (Sako, et al. 1994; Van Donk, Van Der Vaart, 2005).

Los clientes de gran alcance sólo obligan a sus proveedores para entregar de acuerdo a sus normas, por ejemplo, las entregas justo a tiempo en la industria del automóvil resultaron en un cambio en los inventarios de la planta de ensamblaje para el proveedor en un número de casos (Sako et al., 1994). En general, los proveedores o clientes pequeños no suelen ser los socios para la integración de las organizaciones más grandes y más poderosos en la cadena de suministro (Bates y Slack, 1998). Las anteriores condiciones para la integración pueden fácilmente convertirse en obstáculos a la integración al igual que otros factores como la falta de competencia o los costos. Según Forslund y Jonsson (2009) hay cuatro capas entrelazadas de cadena de suministro para su integración dentro de las cuales se encuentran diferentes obstáculos para la integración:

- (1) la integración de los flujos (de información física y financiera);
- (2) la integración de procesos y actividades;

(3) la integración de las tecnologías y sistemas,

(4) la integración de los actores (estructura y las organizaciones).

## **2.6. INTEGRACIÓN Y COLABORACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO**

La colaboración de la cadena (SCC) y la integración de la cadena de suministro (SCI) a veces se han utilizado indistintamente, ya que ambos se refieren a un proceso de estrecha conexión entre los socios de la cadena de suministro. Sin embargo, el término integración significa que el control unificado de los varios procesos sucesivos o similares anteriormente realizada con carácter independiente (Flynn et al, 2010), mientras que en la colaboración dos o más empresas autónomas trabajan en conjunto para planear y ejecutar las operaciones de la cadena de suministro. (Cao y Zhang, 2011). El conocimiento de la colaboración la cadena de suministro ha sido oscurecida por el término vago de la integración según Goffin et al., (2006). Así, la integración pone más énfasis en el control central, la propiedad, o la integración de procesos gobernados por medio de contratos. De acuerdo a la economía de los costos, la colaboración es una forma intermedia de gobierno híbrido. La colaboración es atractiva, ya que pone más énfasis en la gobernabilidad a través de medios relacionales, además de la gobernabilidad a través de medios contractuales (Nyaga et al., 2010). Aunque Flynn et al, (2010) dicen que en la colaboración hay una mejor construcción para captar la relación conjunta entre los socios de la cadena.

En la literatura sobre integración de la cadena de suministro, la mayoría de los estudios no se centran en la conceptualización de la integración, sino que se centran en las prácticas integradoras de la cadena de suministro como ya se ha evidenciado. Flynn et al. señalan que muchas conceptualizaciones de integración de la cadena de suministro son incompletas, y estas concepciones incompletas han dado lugar a resultados contradictorios (Flynn et al., 2010).

La colaboración de la cadena de suministro se basa en un paradigma de la ventaja colaborativa (Dyer, 2000) en lugar de ventaja competitiva (Porter, 1985). Una cadena de suministro se compone de una secuencia o una red de relaciones interdependientes fomentado a través de alianzas estratégicas y colaboración (Chen y Paulraj, 2004; Matopoulos, et al. 2007). Se trata de una visión relacional de ventaja competitiva conjunta (Singh y Power, 2009; Wiengarten, et al. 2010). Ventaja colaborativa proceden de rentas relacionales que producen beneficios comunes de cooperación bilateral, mientras que la ventaja competitiva estimula la captación de rentas individuales de las conductas que maximizan los beneficios propios de una empresa (Flynn et al, 2010). La perspectiva de la ventaja colaborativa permite a los socios de la cadena para ver la colaboración de la cadena de suministro como un juego de suma positiva en lugar de un juego de suma cero, donde los socios se esfuerzan para apropiarse de las rentas más relacionales para su propia ventaja competitiva (Wiengarten, et al. 2010).

La colaboración de la cadena de suministro ha sido definida de muchas maneras diferentes, y básicamente se dividen en dos grupos de conceptualización: el enfoque de procesos y enfoque en la relación. Colaboración de la cadena de suministro ha sido visto como un proceso de negocio mediante el cual dos o más socios de la cadena de suministro trabajan juntos hacia metas comunes (Stank, et al, 2001; Sheu, et al, 2006; Kotzab, et al. 2011), mientras que el otro enfoque ha sido definido como la formación de asociaciones cercanas, a largo plazo donde los miembros de la cadena de suministro trabajan juntos y comparten información, recursos y riesgos para lograr objetivos comunes (Bowersox et al, 2003; Matopoulos, et al. 2007; Singh y Power, 2009). La revisión de la literatura pone de manifiesto la importancia de las actividades de planificación (Kotzab, et al. 2011), la integración de procesos (Lambert et al., 1999), la coordinación de la cadena de suministro (Holweg y Pil, 2008), el establecimiento de metas en la cadena de suministro (Wagner y Krause, 2009), y el establecimiento de los parámetros de intercambio de información (Wiengarten, et al 2010).

La colaboración de la cadena de suministro permite a los miembros de la cadena crear la capacidad de respuesta para reaccionar a cambios en la demanda. La estrecha

colaboración permite a los socios de la cadena de suministro mejorar su capacidad para cumplir con las necesidades del cliente una oferta flexible (Simatupang y Sridharan, 2005). La tabla 5 permite observar los constructos de una cadena de suministro colaborativa.

**Tabla 5. Constructo y definiciones de colaboración de la cadena de suministro**

<b>Constructo</b>	<b>Definición</b>
Ventajas de la cadena colaborativa	Beneficios estratégicos ganado frente a sus competidores en el mercado a través de la cadena de suministro asociación
Proceso de eficiencia	Hasta qué punto la colaboración de una empresa con socios de la cadena de suministro tiene un costo competitivo
Flexibilidad	Hasta qué punto la vinculación de una empresa de la cadena apoya cambios en los productos o servicios disponibles para los clientes
Sinergia de empresas	Hasta qué punto socios de la cadena combinan recursos complementarios y relacionados para lograr aumento de beneficios
Calidad	Hasta qué punto una empresa con socios de la cadena de suministro ofrece productos fiables y duraderos que crean mayor valor para los clientes
Innovación	Hasta qué punto una empresa trabaja en conjunto con sus socios de la cadena en la introducción de nuevos procesos, productos o servicios

La condición necesaria para la colaboración de la cadena es que los socios de la cadena de suministro son capaces de expandir la ganancia total, debido a la sinergia (Simatupang y Sridharan, 2005). Los socios de la cadena de suministro obtendrán beneficios financieros por parte de la capacidad de respuesta cada vez mayor, especialmente para los productos innovadores (Fisher, 1997; Kotzab, et al. 2011). La literatura también es compatible con la capacidad de las asociaciones para lograr ahorros en los costos y reducir la duplicación de los esfuerzos de las empresas involucradas (Lambert et al., 2004; Goffin, et al. 2006).



Estudios previos han sugerido que los beneficios de la colaboración incluyen la reducción de costos, el riesgo compartido, el acceso a capital financiero, los activos complementarios, mejorar la capacidad de aprendizaje rápido, y la transferencia de conocimientos (Cao y Zhang, 2011). Simatupang y Sridharan (2005) introduce un índice de colaboración para medir el nivel de las prácticas de colaboración y encontrar que el índice de la colaboración se asocia positivamente con el rendimiento operativo.

## **2.7 EL IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DE CADENA DE SUMINISTRO EN EL RENDIMIENTO**

Se ha encontrado que el intercambio de información está positivamente influenciada por la integración de la cadena de abastecimiento (Ahmad y Schroeder, 2001; Narasimhan y Nair, 2005; Zhou y Benton, 2007; Jayaram y Tan, 2010; Sanders, et al. 2011; Prajogo y Olhager, 2012). En concreto se identifican i) los mecanismos de flujo de retroalimentación de los clientes (Zailani y Rajagopal, 2005; Kannan y Tan, 2010), ii) datos precisos de pronóstico de la demanda (Lee, 2002; Wu, 2011), iii) la planificación de inventario eficiente y modelos de distribución, puede ser logrado mediante la integración con los clientes (Stevens, 1989; Lee y Billington, 1992; Caputo y Mininno, 1996; van Hoek, et al. 1998; Richey Jr, et al. 2009; Estampe, et al. 2010).

**2.7.1 Dimensiones de integración.** Se argumenta que las diversas dimensiones de la integración de la cadena de suministro se pueden resumir en tres: clientes, proveedores y la integración interna. Al cliente y la integración de proveedores se conoce comúnmente como la integración externa, que es el grado en que algunos socios del fabricante con sus socios externos para estructurar estrategias de inter-organizacionales, prácticas y procesos en los procesos de colaboración, sincronizadas (Stank et al., 2001). La integración del cliente consiste en competencias básicas derivadas de la coordinación con clientes críticos, mientras que la integración de proveedores incluye las competencias básicas relacionadas con la coordinación con los proveedores críticos (Bowersox et al., 1999). Por el contrario, la integración interna se centra en las actividades dentro de un

fabricante. Es el grado en que un fabricante de estructuras de sus estrategias organizativas propias, prácticas y procesos en los procesos de colaboración, sincronizados, con el fin de cumplir con los requisitos de sus clientes (Suhong Li, et al. 2005) y de manera eficiente interactuar con sus proveedores.

Según Zailani y Rajagopal la integración con los proveedores: i) fortalece las relaciones basadas en la confianza, ii) se establecen los acuerdos contractuales a largo plazo, iii) canal de comunicación más coordinada y las transacciones son creadas, y iv) mayor aprovechamiento de la sinergia y el medio ambiente de colaboración de negocios apoyando así el intercambio de información (Zailani y Rajagopal, 2005). Por otra parte para Flynn, et al. la integración dentro de la organización lleva a: i) la transmisión homogénea de los datos externos recibidos en la organización desde cualquier punto de contacto con los miembros de la cadena de suministro a diversas funciones organizativas o departamentos, ii) la respuesta en tiempo real a los estímulos del medio ambiente, iii) genera la práctica colectiva de toma de decisiones basado en la acción dentro de la organización, iv) crea un enfoque sistemático para procesar la información recopilada desde el exterior y una división del trabajo entre los empleados de la organización facilitando así el flujo de información en toda la organización (Flynn, et al. 2010).

En particular, es importante aplicar ambos enfoques dentro de un solo estudio, con el fin de determinar si los resultados son debido a la relación entre SCI y el rendimiento o son un artefacto de la recogida de datos y diseño del estudio (Flynn, et al. 2010).

El intercambio de información, la planificación conjunta, los equipos multi-funcionales y el trabajo conjunto son elementos importantes en el proceso de aumento del rendimiento de la cadena de suministro (Zailani y Rajagopal, 2005; Sun, et al. 2009). La selección de los indicadores de desempeño adecuados es un reto, debido a la complejidad inherente y la interdependencia de las cadenas de suministro (Suhon, et al 2005). Mientras Chen y Paulraj (2004a) y Germain e Iyer (2006) sostienen que el desempeño financiero debe ser el criterio principal de valoración del desempeño para la cadena de suministro, otros han descrito las limitaciones de confiar únicamente en medidas financieras de rendimiento

(Kim, 2006; Ellinger, et al. 2012) sugieren que la medición del rendimiento de la cadena deberían incluir indicadores operacionales, tales como servicio al cliente y la capacidad de responder a un entorno cambiante. Neely et al., enumeran costo, tiempo, calidad, entrega y la flexibilidad de las medidas importantes del rendimiento operacional (Neely et al., 1995). Van der Vaart y van Donk han estudiado la preferencia por la medición del desempeño de la cadena por medio de una sola empresa focal (Van der Vaart y van Donk, 2008).

La integración de la cadena de suministro ha ganado considerable atención con el cambio de las estrategias de fabricación y de suministro y aumento de la globalización (Li, et al. 2009; Koçoğlu, et al. 2011). El fundamento teórico de la integración de la cadena se remonta a Stevens, haciendo hincapié en el valor de la creación de vínculos entre los miembros de la cadena (Stevens, 1989). Sin embargo, Flynn, et al. (2010) reveló que la vinculación de todos los miembros de la cadena de suministro y la alineación de los objetivos para acercarse a un sistema compartido de valores es fundamental para que las empresas ofrezcan un valor superior a los clientes. La vinculación efectiva de las diversas actividades de la cadena de suministro, incluyendo las funciones internas de una organización con las operaciones externas de proveedores, clientes y otros miembros de la cadena de suministro son tenidas en cuenta por varios autores (Germain & Iyer, 2006; Kotzab, et al. 2011; Fayard, et al. 2012; Danese, et al. 2013) y son fundamentales para asegurar correctas relaciones de la cadena de suministro y facilita la coordinación de los flujos de información desde el proveedor hasta el fabricante y cliente, así como el flujo reversa del cliente al fabricante y proveedor (Jüttner, et al. 2010; Coronado, et al. 2011; Bosona y Gebresenbet, 2011). Para lograrlo es necesario corregir las relaciones de la cadena de suministro basadas en la colaboración estratégica con los socios de la cadena de suministro (So y Sun, 2010;), aprovechar el flujo de información oportuno, preciso y de calidad (Closs y Savitskie, 2003; Suhong, et al. 2005). Sin embargo, aunque las definiciones en la literatura con respecto a integración abarcan la complementariedad entre la integración y el intercambio de información (Holweg y Pil, 2008; Yanhuia y Xiana, 2012), algunos estudios se centran en el poder de negociación de la integración de la información como dimensión obligada para mejorar el rendimiento de la cadena (Sabath,

1995; McAdam y McCormack, 2001; Jonsson y Gunnarsson, 2005; Lau, et al. 2010; Danese y Romano, 2011).

En una cadena de suministro integrada, el desarrollo de una sólida asociación estratégica con los proveedores de facilitar su comprensión y anticipación de las necesidades del fabricante, con el fin de satisfacer mejor sus necesidades cambiantes. Este intercambio mutuo de información sobre los productos, procesos, programas y capacidades de ayuda a los fabricantes a desarrollar sus planes de producción y la producción de bienes en el tiempo, mejorando el rendimiento de la entrega. Al desarrollar una buena comprensión de las operaciones del fabricante, los proveedores alcanzan un alto nivel de servicio al cliente, el cual, a su vez, ayuda a los fabricantes a mejorar su servicio al cliente. La integración de proveedores se ha relacionado con el rendimiento en entrega de productos (Petersen et al, 2005; Koufteros et al, 2007; Ragatz et al, 2002) y del desempeño del proveedor (Cousins y Menguc, 2006). Otros, sin embargo, no han encontrado ninguna relación entre la integración de proveedores y el rendimiento operativo (Stank et al, 2001.) o una relación negativa (Koufteros et al, 2005).

La literatura indica que los fabricantes no pueden dar la misma importancia en todas las dimensiones de la integración de la cadena de suministro. Mientras que algunos pueden haber integrado bien los sistemas internos, es posible que no amplíen este enfoque a los clientes y proveedores, mientras que otros pueden ser fuertes en la integración de cliente o proveedor y más débil en su integración interna (Fabbe-Costes y Jahre, 2008). Hay una necesidad de una clasificación basada en diferencias significativas entre las prácticas de integración, con el fin de tener una mejor idea acerca de la relación entre los patrones de integración de la cadena y el rendimiento. Además, en la literatura es notable la carencia de una real clasificación de las diferentes prácticas integradoras, tal como se mostró anteriormente, que incorpora la integración interna, así como la integración de clientes y proveedores.

**2.7.2 Intercambio de Información y rendimiento de la cadena de suministro.** En particular, la integración de la cadena de suministro aumenta el grado de asociación con los miembros externos de la misma, con lo que la estructuración de las estrategias a nivel de empresas, procesos y prácticas en las actividades de integración, son sincronizadas y alineadas para lograr entre organizaciones el intercambio de información (Koçoğlu, et al. 2011). El entorno dinámico formado a través de las relaciones de colaboración entre proveedores y compradores, alivia los recursos tecnológicos necesarios y de gestión, que deben aplicarse y utilizado por varios socios de la cadena como la capacidad competitiva, en lugar de asumir el costo de la internalización de estos recursos en la casa (Kim, 2009). Existe un consenso en la literatura que el alto nivel de relaciones estrechas con socios de la cadena de suministro, conduce a una mayor visibilidad de las actividades operativas de los proveedores, permitiendo así la transparencia y una plataforma a través del cual la información puede ser comunicada entre los actores (Chae, et al. 2005). El argumento anterior implica que la integración de la cadena puede desempeñar un papel para la intensificación del intercambio de información entre los miembros de la cadena de suministro.

La necesidad de las cadenas de suministro a que participen en las relaciones de colaboración, para formar una sola organización virtual en términos de enfoque global, con el objetivo de maximizar las ganancias y reducir los costos totales de operación (Ding, et al. 2011), se hace eco en diversas industrias que recuerdan a las empresas a compartir sus recursos y colaborar (Koçoğlu, et al. 2011). Estudios anteriores han llegado a un consenso de que SCI mejora el rendimiento de la empresa (Zailani y Rajagopal, 2005; van der Vaart y van Donk, 2008; Kim, 2009) y la ventaja competitiva (Li, et al. 2009) reduce los costos (Zhao, et al. 2008; Petersen, et al. 2005; Fayard, et al. 2012), reduce los inventarios, elimina el efecto látigo (Yu, et al. 2001; Geary, et al. 2006; Disney y Towill, 2003; Katunzi, 2011), mejora la calidad de la entrega y se acorta tiempos de ciclo (Cousins y Menguc, 2006). Sin embargo, en la literatura se ha evidenciado una dificultad para identificar la relación entre la integración de la cadena de suministro y el rendimiento de la misma. Pero, estudios empíricos presentan como las empresas deben tener correctas relaciones de la cadena de suministro con el fin de ofrecer los beneficios a sus asociados (Panayides y Lun, 2009).

En este punto se hace necesario definir el rendimiento. Según Chow et al. (1994) el rendimiento es un concepto complejo en la logística, debido a los múltiples objetivos. Según la revisión de literatura actual medidas como márgenes de beneficio neto, la utilidad generada por los activos, los ingresos obtenidos de las inversiones, la posición competitiva global son consideradas dentro del rendimiento de una organización. Por lo tanto, la atención se centra en las medidas financieras.

Según Koçoğlu, et al., la integración de la cadena de suministro en tres niveles, incluyendo la integración con los proveedores, la integración con los clientes y la integración dentro de la organización, puede a las empresas dar un mayor rendimiento (Koçoğlu, et al., 2011). A través de la centralización de las operaciones, la gestión y las decisiones estratégicas, el control unificado de los procesos y los actores se compromete la función de maximizar la utilización de los activos, tanto interno como externo (Flynn, et al. 2010). Por otra parte, el aumento de los niveles de tecnologías de la información (TI) que participan en la comunicación y transacción de los miembros de la cadena de suministro que se encuentran geográficamente distribuidos, fortalece las actividades de suministro seguro y confiable de la cadena, lo que facilita la coordinación entre los socios de la cadena de suministro (Bagchi y Skjoett-Larsen, 2003; Closs y Savitskie, 2003; Li, et al. 2009; Cheng, et al, 2010; Prajogo y Olhager, 2012). Así, las TI, ofrece información oportuna, precisa y fiable que permite una comunicación conveniente y de bajo costo (Li, et al. 2009). Por lo tanto, la integración de la cadena de suministro puede mejorar su rendimiento a través de la transferencia, en tiempo real, de información confiable y precisa tanto a través de los integrantes de la cadena de suministro, tanto externo como internos y dentro de las funciones de cada organización (Koçoğlu, et al. 2011).

Varios de los artículos analizados tienen como conclusión que la integración de la cadena de suministro tiene un efecto positivo en el rendimiento (Zailani y Rajagopal, 2005; Rosenzweig, et al., 2003; Kim, 2009; Turkulainen y Ketokivi, 2012). Según estos autores

mientras mayor es el grado de la integración de la cadena, el mejor el rendimiento que esta alcanza.

Min y Menzer reconocen que el vínculo entre el SCI y el rendimiento es significativa pero débil (Min y Menzer, 2004). Pero en cambio Rosenzweig et al., ofrecen evidencia que uno de los primeros impactos de la integración es el mejoramiento en el desempeño financiero de la cadena que, a su vez, repercute en el rendimiento general (Rosenzweig et al., 2003).

Giménez y Ventura concluyen que la integración externa es más poderosa que la interna (Giménez y Ventura, 2005). En el mismo sentido, Stank et al. arrojan evidencias de que "la colaboración externa no conduce a mejores resultados en el servicio logístico" (Stank et al., 2001a), pero la integración interna si tiene un impacto positivo en el desempeño logístico. Germain y Iyer (2006) concluyen que si al integrar las operaciones internas y externas están separadas, no tienen impacto significativo en el rendimiento, pero cuando se combinan, si lo tienen (Germain y Iyer, 2006).

En el estudio de Cousins y Menguc la integración de la cadena no demuestra tener un gran impacto en sus resultados (Cousins y Menguc, 2006). Stock et al. también concluyen que la integración logística no proporciona necesariamente un beneficio para el rendimiento en todos los casos y que sus beneficios surgen en combinación con otras dimensiones de la estructura de una empresa de la cadena de suministro (Stock et al., 2000).

Así, la base del supuesto de que la integración de la cadena da un mayor rendimiento es muy limitado. Algunos estudios se basan en sus conclusiones en datos primarios y estudios empíricos. Otro punto es que, los trabajos se basan en diferentes corrientes de investigación y bases teóricas. Esto no es un problema en sí mismo - ya que puede añadir la amplitud y la profundidad de los estudios -, sino la conciencia de los supuestos de las teorías en que se basa la investigación, mejoraría la validez de los estudios (Halldorsson, y Skjøtt-Larsen, 2007)

## 2.8 CONCLUSIONES

El presente trabajo contribuye a aclarar el concepto de integración de la cadena de suministro al ser un tema muy poco tratado en la literatura, pues los diversos autores que escriben sobre este tema asumen que el lector ya se encuentra familiarizado con el mismo. Al realizar el estudio sobre el tema, deja una connotación importante: la definición de integración de la cadena de suministro tiene diversidad de definiciones y enfoques que pueden llevar a la confusión en los resultados. Al analizar un estudio de integración de cadena de suministro es necesario tener en cuenta que definición se realiza sobre la misma para así tener claridad en las conclusiones del trabajo de investigación.

Existe una confusión o ambigüedad en la literatura relativa a los conceptos de integración y colaboración en la cadena de suministros. Así el término integración está dimensionado en el control unificado de los varios procesos sucesivos y la colaboración en el trabajo en conjunto para planear y ejecutar las operaciones de la cadena de suministro. De esta manera se reafirma que los estudios de la integración de la cadena de suministros debe tener un marco multi-dimensional y confirma la importancia de definir claramente los límites de los sistemas estudiados como las diferencias en el alcance puede dar resultados diferentes.

La literatura ha citado la importancia de la integración de la cadena de suministro en la consecución de una ventaja competitiva y la mejora del rendimiento. Sin embargo, estas afirmaciones son aún muy limitadas, dado que se han estudiado diferentes factores en este tema: costos, información y comunicación, relaciones intra e inter organizaciones, transporte y flujo de bienes las cuales aún no demostrado esas ventajas competitivas y mejoras del rendimiento de las empresas. Así la afirmación que la integración es siempre lo mejor para una cadena de suministros no puede darse por sentada y que se necesita



más investigación, en particular en lo que respecta al impacto en el rendimiento de la cadena de suministro.

El marco multidimensional que se tienen en esta revisión de literatura proporciona una estructura para la identificación de convergencias y divergencias en el tema. La revisión también proporciona un punto de partida para plantear nuevas preguntas de investigación y para la operacionalización del concepto de integración para utilizar en aplicaciones prácticas y en estudios adicionales. El concepto de integración que se tiene en cuenta para el resto de la investigación hace referencia únicamente al flujo de bienes hacia adelante en el sistema logístico. Las variaciones o fluctuaciones de materiales a lo largo del sistema logístico serán determinísticas, de esta forma queda abierta la posibilidad de extender el estudio desde otros puntos de vista.

Por último, la actual revisión de literatura ha demostrado que la productividad no es tomada en cuenta como un factor para la toma de decisiones en la gestión de la cadena de suministros, por lo cual el presente estudio adquiere mayor validez.

### **3. REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DE UNA CADENA DE SUMINISTRO**

Una cadena de suministro puede ser considerado como un proceso integral en el que un grupo de varias organizaciones, tales como proveedores, productores, distribuidores y minoristas, los cuales adquieren materias primas con el fin de convertirlos en productos finales que se distribuyen a los minoristas según lo planteado en el capítulo anterior. La gestión de la cadena de suministro, desde la perspectiva de la optimización, es un control de flujo de materiales entre proveedores, instalaciones, almacenes y clientes de tal manera que el costo total de la cadena de suministro puede ser minimizado o maximizado sus ingresos (Tsai, 2006)

El resultado principal de esta sección es la formalización de un modelo eficaz para los problemas de control descentralizados o por varios actores, que sea capaz de tener en cuenta tanto los costos de producción, transporte y almacenamiento de cada elemento de una cadena de suministro a fin de generar una representación más adecuada de la producción-distribución de estos sistemas logísticos con el fin de mejorar la toma de decisiones en un entorno dinámico, global y competitivo, así los recursos y su empleo en sistemas de logística tiene que ser mejor considerados en la planificación de la producción y sistemas de control (Mengaa, et al., 2008) mediante una serie de consideraciones tales como la configuración de la cadena, los medios de transporte disponibles, las capacidades de producción y distribución y las demoras generadas por esta dinámica. De esta manera el resultado puede convertirse como posible fuente de información y conocimiento para el desarrollo futuras investigaciones relacionas con el tema en cuestión: la producción, programación del transporte y la planificación colaborativa e integrada del sistema logístico.

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Las operaciones en la cadena de suministro y la logística son parte de las actividades más importantes de la actualidad económica y son consideradas herramientas vitales para que las empresas sigan siendo competitivas (Mula, et al. 2009).

Los agentes de fabricación y logística deben intercambiar información para lograr la eficiencia sistémica y sostenibilidad desde los aspectos estratégico, táctico y operativo, así el presente trabajo debe diseñarse y aplicarse teniendo en cuenta esta afirmación. El saldo de las interfaces entre los sistemas de fabricación y logística deberían basarse en una mejor comprensión mutua de las diferencias entre las funciones relacionadas, organizaciones y contextos. Las funciones se refieren a tareas específicas y actividades dentro y fuera de las organizaciones (por ejemplo, producción y transporte). Las organizaciones se caracterizan por sus procesos internos, las prácticas, las estructuras, las competencias y la cultura. Por otra parte, los contextos pueden ser descritos por sus características culturales, administrativas, geográficas y económicas. (Scholz-Reiter, et al., 2010).

Las organizaciones, que constituyen una red de cadena de suministro, interactúan a través de conexiones continuas que crean valor añadido en productos (Longinidis, Michael y Georgiadis. 2011). Estas redes tienen un número indefinido de escalones y etapas, mientras que sus principales operaciones consisten en la compra de materias primas a proveedores, producción, transporte y almacenamiento de productos, gestión de inventario y distribución de los productos a los clientes.

La implementación de un sistema de cadena de suministro tiene impactos importantes sobre el desempeño de una organización. Las empresas de fabricación y distribución buscan de alternativas para la gestión eficaz de sus actividades de logística y cadena de suministro a través de la selección de las estrategias, las configuraciones de participantes y políticas de operación (Das y Sengupta, 2009). Por lo tanto, el creciente interés en la evaluación del desempeño de la red de suministro en los últimos años indica la necesidad de que el desarrollo de modelos de optimización complejos capaces de responder a las preguntas sin resolver en la red de producción-distribución.

El propósito de este trabajo es desarrollar un modelo de cadena de suministro por medio de programación entera mixta, que extiende a los anteriores modelos de producción y distribución. El modelo propuesto, que incorpora múltiples períodos, productos múltiples, plantas, almacenes y múltiples centros de consumo, considera las variables del mundo

real y limitaciones. El modelo será luego analizado en el caso de varios escenarios a fin de obtener mediciones de desempeño para el cálculo del cambio de productividad si esta se encuentra integrada o no.

### **3.2 REVISIÓN DE LITERATURA**

El campo de la literatura sobre cadenas de suministro es muy amplio, por lo que una revisión de investigaciones existentes sobre el tema sólo se realizará a fin de obtener una mejor comprensión de los métodos de modelado matemáticos utilizados en la gestión de la cadena y la planificación del transporte. Dada la globalización de las operaciones, los nuevos modelos y herramientas para la mejora de los planes de previsión, la reposición y la producción a lo largo de las cadenas de suministro son obligatorias. Además, en el contexto de las cadenas de suministro, las empresas de manufactura se encuentran cada vez más en la necesidad de integrar la gestión de producción y la planificación del transporte con el fin de optimizar ambos procesos al mismo tiempo.

Una variedad de modelos SC han sido propuestos para la optimización y simulación de redes de suministro que incorpora múltiples plantas de fabricación, productos múltiples, múltiples centros de distribución (almacenes), múltiples usuarios finales, y varios períodos de tiempo. De esta forma la especificación del problema es considerablemente más complicada. La razón es que si todos los insumos, los productos, los procesos, las plantas de proceso, los almacenamientos temporales, centros de distribución y los mercados están incluidos, el problema se vuelve demasiado grande para analizar y comprender. Por tanto, para realizar una representación simplificada de la realidad, en el diseño del modelo se tiene que decidir cuáles son los elementos a incluir y cuáles excluir. Por lo tanto, en la primera parte de este capítulo la especificación del problema de planificación se discute en términos del tamaño y la complejidad del modelo.

Este trabajo no tiene la intención de identificar cada trabajo bibliográfico ni ampliar una opinión de ellos, sino de proporcionar un punto de partida acerca de los mejores métodos de gestión para la producción diferente de la cadena de suministro y los

problemas de planificación del transporte. El objetivo de este trabajo es revisar la literatura y clasificar la literatura basada en la estructura de la cadena de suministro, nivel de decisión, el enfoque de modelado, el propósito, la información compartida, las limitaciones y la aplicación.

**Tabla 6. Enfoques de modelos de cadenas de suministros**

Autores	Cap	Inv	Prov	Trans	Prod	Dist	Comp	S al c.
Robert Frankel, 2006	X	X		x	X	X	x	X
Yuliang Yao, 2007			x				X	X
Jui-Lin Wang , 2009	X	X		X	X			
Yugang Yu, 2009			x			x		X
Haisheng Yu, 2009	X	X	X			X		X
Piet van der Vlist, 2007		X	X	X	X		X	X
Yugang Yu, 2010		X	X	X	X	X	X	X
Wang Wenlin, 2010		X	X					
Rifat Sipahi, 2010				X	X	X	X	X
Hsiao Yu-Cheng, 2010				X	X			X
Katsuhiko Takahashi, 2010	X	X			X			
Chung-Lian Shen, 2008						X	X	
Chris K.Y., 2009	X	X						X
Mateo Waller A., 2006				X	X		X	X
C.Y. Lam, 2010	X	X			X		X	X
F. Leung - K. Nam , 2010	X	X						
Josefa Mula, 2010					X		X	
Panagiotis Tsiakis, 2008					X	X	X	
Sentina Bilgen, 2010					X	X		
Bradley T., 2008					X		X	
Vicens - Mula Josefa, 2010				X	X			X
Selim Hassan, 2007					X	X	X	
Cristián E. Cortés, 2010				X				X
Martha C. Wilson, 2007				X			X	X
J. Hill - M. Galbreth, 2008				X		X		X
Félix T.S. Chan, 2008				X				X
Kamal Abadía, 2009				X	X	X		X
Karabuk Suleyman, 2006	X	X					X	X
Joung Jung, 2008	X	X						
Sung Ho Ha, 2008			x			X	X	X
Yao Yuliang, 2010	X	X				X	X	

La complejidad de las cadenas de abastecimiento también ha dado lugar a la inclusión de decisiones de planificación de cada actividad como se mencionan en la Tabla 6 en donde los autores se están enfocando a una o varias actividades que permitirán al final del proceso crear más competitividad dentro de una cadena de abastecimiento. Para algunos autores es importante investigar y crear o aplicar modelos que permitan el buen funcionamiento o planeación de la producción y distribución con el objetivo de coordinar las decisiones logísticas (Bilgen, 2010) por lo que son altamente dinámicas e inciertas en donde se pueden utilizar modelos difusos u otros modelos, pero siempre teniendo en cuenta restricciones que llevarán al final del proceso reducciones u optimizaciones en algún proceso estudiado (Yugang, 2009).

Para Kumar es más importante la selección de los proveedores en donde también se utilizan modelos como multi-objetivo y programación difusa, debido a que la formulación y selección de proveedores en la industria puede minimizar costos, maximización de la calidad, y lo más importante reducir tiempos de entrega (Kumar, 2006). Se utilizan limitaciones de capacidad, vendedores, tiempos de entrega con el fin de satisfacer a los compradores y consumidores finales (Shanka 2009).

Considera Jiuping Xu que es importante analizar el caso de los costos de envío, gastos fijos de la planta como también de los centros de distribución y la maximización de servicio a los clientes (Jiuping Xu, 2008), Wang (2008) utiliza modelos multi-objetivo y programación difusa para el diseño de problemas como los anteriormente mencionados, en donde la eficacia y la eficiencia de este método se puede aplicar a distintas industrias (Wang, 2008).

Para autores como Abadía (2009) consideran la producción como una de las operaciones con más índices de rendimiento o rentabilidad, reducción de costos o de servicio al cliente (Abadía, 2009), por tal razón otros autores aplican modelos como programación difusa entre otros para poder lograr resultados óptimos en la integración de cadena de abastecimiento (Wang, 2008; Jung, 2008).

De tal manera se estudia en la siguiente sección cuales han sido los modelos, herramientas que los investigadores de los artículos anteriormente mencionados han

utilizado para obtener mejoras en sus procesos el cual han permitido la incrementación de competitividad y productividad dentro de las cadenas de abastecimiento y un rendimiento significativo en las industrias.

**3.2.1 Modelo MLP.** Propone la gestión de operaciones superiores a las decisiones sobre asignación de la producción, capacidad de producción por cada sitio, las tasas de compra de materias primas y configuración de la red teniendo en cuenta los aspectos financieros y los costos (Mula 2010).

**Tabla 7. Resumen para modelos de programación entera mixta**

AUTORES	QUE MIDE	COMO SE MIDE	ENFOQUE
Piet van der Vlist, 2007	Minimización de costos totales. Como producción, inventarios, transportes	Aspectos a tener en cuenta: Número de clientes, Numero de proveedores, Demanda conocida	Optimización del diseño y funcionamiento de la cadena de abastecimiento:
Rifat Sipahi, 2010			Localización de la producción Ubicación del centro de distribución
James Hill - Michael Galbreth, 2008	La asignación de todos los vehículos a sus trayectorias reduciendo el tiempo de viajes	Aspectos a tener en cuenta: Selección de vehículo Limitaciones de capacidad Selección de rutas	Reducir tiempos de viaje
Bilge Bilgen y Ozkarahan 2007	Planificación de la entrega del producto puesto que los productos demandan clientes el sitios diferentes con frecuencias de tiempo totalmente distintas.	El problema presenta pocas existencias de productos terminados, restricción de capacidad.	Minimizar el costo total de carga y costos de inventario
M.A.I. Schutyser, 2008.		Se determina máquinas de tiempo de procesamiento, nivel de fuerza de trabajo,	Cuando el problema se resuelve muestra la cantidad de producto a fábricas, cantidad de producto para ser cargado y entregado a cada cliente
Robert Frankel 2006.			
Peter Roupas, 2008			



La herramienta computacional de gestión también permite avanzar en el panorama en que la programación automatizada de la producción pueda ser desarrollada sin necesidad de que el personal encargado tenga conocimiento en modelación matemática, pues en ello se desarrolla una interfaz de usuario para lograr un acercamiento a la herramienta y uso del modelo matemático, con facilidad en el manejo y recolección de datos (Hidalgo, Toro Díaz 2010).

Uno de los principales retos que enfrenta ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte) de hoy es optimizar la guía de ruta para vehículos con el fin de reducir el tiempo de viaje con experiencia.

En un sistema de guía de ruta de cooperación, el problema se convierte en asignación de rutas a vehículos de transporte en determinados momentos y destinos con el fin de minimizar el tiempo de viaje promedio.

Una integración eficiente de los planes de producción y distribución en un marco unificado es fundamental para lograr ventaja competitiva. Los autores aborda el problema de planificación de producción y distribución en una Red de abastecimiento de la cadena que involucra la asignación de volúmenes de producción entre la producción de diferentes líneas en las plantas de fabricación, y la entrega de los productos a los centros de distribución. Un sistema integrado de modelo de optimización de producción y planificación de la distribución se propone, con el objetivo de forma óptima coordinación de las decisiones logísticas importantes y están interrelacionados. Teniendo en cuenta la falta de claridad en las limitaciones de capacidad, y el nivel de aspiración de los costos utilizando diferentes operadores.

Se implementa un modelo de programación lineal entera mixta que representa un sistema de manufactura de dos escalones, con la intención de determinar decisiones óptimas de aprovisionamiento de materias primas o componentes. El modelo se programa usando software de modelación algebraica y se integra a una herramienta computacional desde la cual se administra el ingreso de los parámetros y la obtención de resultados.

El modelo es validado en un ambiente de manufactura, observando que además de representar fielmente el sistema se obtienen decisiones de aprovisionamiento que minimizan el costo total.

Uno de los problemas que enfrentan hoy en día las industrias son los problemas de transporte tales como rutas de viaje, tiempo en viajes entre otros. En donde se tiene limitaciones como capacidad y variables correspondientes a la selección de rutas vehículos. Por lo que el modelo de programación lineal permite dar una solución exacta a través de rama y acotamiento.

La herramienta computacional de gestión también permite avanzar en el panorama en que la programación automatizada de la producción pueda ser desarrollada sin necesidad de que el personal encargado tenga conocimiento en modelación matemática, pues en ello se desarrolla una interfaz de usuario para lograr un acercamiento a la herramienta y uso del modelo matemático, con facilidad en el manejo y recolección de datos. Es decir, para efectos prácticos los planeadores de producción seguirían usando su misma interfaz actual de programación.

**3.1.2 Programación Multi Objetivo.** La tabla 8 presenta un modelo de programación matemática fuzzy multi-objetivo que permiten la flexibilidad y la robustez en las técnicas utilizadas para la planificación a nivel operativo en una cadena de abastecimiento. Los objetivos del modelo propuesto son la minimización del número de camiones utilizados y del inventario total, considerando como parámetro difuso las capacidades de los vehículos empleados.

Se propone una metodología de resolución para transformar el modelo original en un modelo de programación lineal entera mixta con un único objetivo, aplicando diferentes enfoques recogidos en la literatura.

Los modelos propuestos se validan con datos pertenecientes a una cadena de abastecimiento. Por último, los resultados obtenidos para cada uno de los enfoques empleados muestran la mejora aportada por el modelo propuesto respecto al

procedimiento heurístico para la toma de decisiones empleados en la cadena de abastecimiento.

Estos exigen información de costos, insumos, procesamiento, transporte, escasez y la capacidad de expansión son consideradas como los parámetros inciertos. Para desarrollar un modelo robusto, dos funciones objetivo adicionales se agregan en el problema. Por lo tanto, este modelo de multi-objetivo incluye: la reducción al mínimo de la suma de los costos de inversión actual y el tratamiento previsto en el futuro, el transporte, la escasez y los costos de expansión de capacidad, la minimización de la varianza del costo total y la minimización de los riesgos financieros o la probabilidad de no cumplir con un determinado presupuesto. Las ideas de proveedores confiables y la expansión de la capacidad, después de la realización de los parámetros inciertos, también se incorporan en el modelo. Por último, se utiliza la técnica de la obtención de objetivos para alcanzar las soluciones se utiliza la herramienta de Pareto para que se pueda utilizar en las óptimas tomas de decisiones.

Así es posible deducir que los propósitos más usados en modelación matemática son los que consideran aspectos cuantitativos relacionados con los costes, el cliente servicio e inventarios. En cuanto a los costes, la reducción al mínimo de costos (MC), la maximización de los ingresos (RM) y la maximización de la de beneficio (MB) se contemplan, mientras que la maximización del nivel de servicio (MSL), la reducción al mínimo de los pedidos pendientes (MBA), la flexibilidad en volumen o fechas de entrega (F) o la maximización de flujo (FW) se consideran para los servicios al cliente. La maximización de los inventarios de seguridad también se tiene en cuenta (MSI). La minimización de los costes totales es el propósito principal de los trabajos revisados, mientras que la maximización de los ingresos o ventas se considera un en menor medida.

**Tabla 8. Resumen para modelos de programación multi-objetivo**

AUTORES	QUE MIDE	COMO SE MIDE	ENFOQUE
Rifat Sipahi, 2010		parámetros:	Aumento de ingresos
		Cantidad de producto $i$ para ser transportados con el nivel de capacidad de transporte para el minorista en el período. Cantidad de inventario final en el período para el producto $i$ en el DC.	Reducción de inventarios,
Panagiotis Tsiakis, 2008			Reducción de costos del capital
	Planificación colaborativa de producción-distribución en el sistema de cadenas de abastecimiento.	Unidad de tiempo de procesamiento del producto en la estación de trabajo.	
		Cantidad de producto exigido por los clientes minorista en el período	
		Horas extraordinarias de la capacidad en la estación de trabajo en el período	Reducción de costos logísticos
Choi Tsan-Ming, 2008		Cantidad de producto $7$ para minorista y clientes en el período	
		Cantidad del producto en planta en el período	

**3.2.3 Limitaciones.** Algunas limitaciones de la cadena de suministro se refieren a nodos específicos tales como proveedores, minoristas, centros de distribución, almacenamientos temporales y la falta en los modelos del esquema productivo de la cadena de suministro, lo que limita su funcionamiento. Por otra parte, las limitaciones surgen de determinadas implicaciones no contempladas en los modelos analizados como lo son pedidos pendientes, las existencias de seguridad, retrasos en entregas, capacidad de

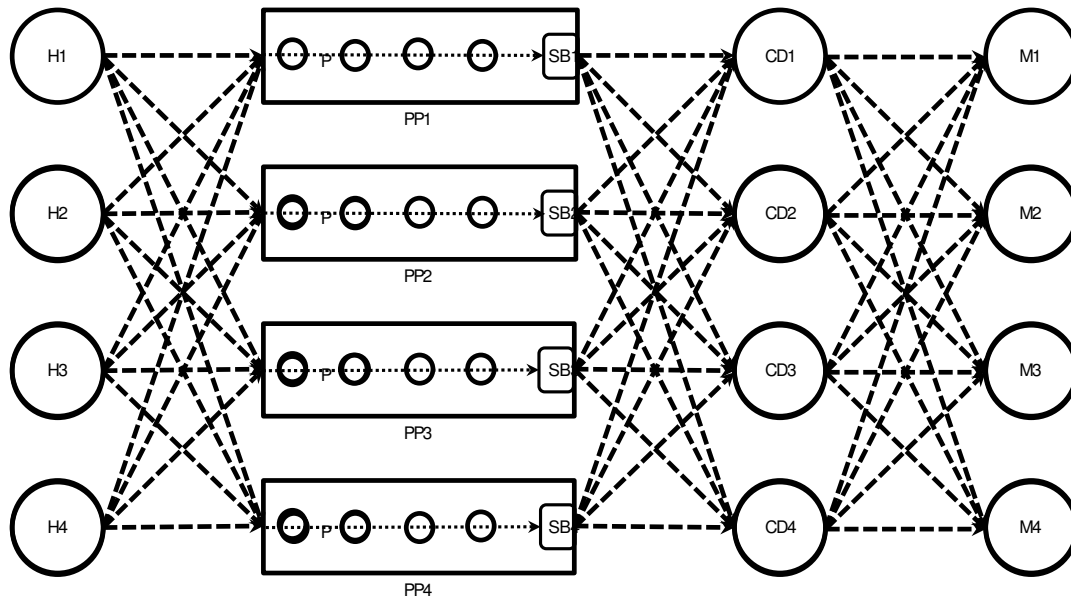
medios de transporte o valores no del todo realistas para determinar ciertos parámetros, por ejemplo, la capacidad de producción infinita.

**3.2.4 Tamaño del modelo.** Los modelos pequeños son más fáciles de entender, además se puede resolver el modelo repetidamente al intentar obtener una mejor comprensión de una industria específica. Por el contrario, los modelos grandes proporcionan una especificación más detallada que permite analizar algunos problemas de interés y para comprobar la validez de las soluciones a los modelos pequeños. También, los modelos estáticos tienen una ventaja comparativa en el estudio de los problemas de funcionamiento, y los modelos dinámicos tienen una ventaja comparativa en el análisis de los problemas de inversión.

### **3.3 FORMULACIÓN DEL MODELO**

La figura 4 ilustra el complejo problema de producción-distribución para la cadena de suministro que se considera para el modelado en este trabajo. En este problema, varios proveedores de materiales envían suministros a las plantas de elaboración en las cuales se fabrican varios tipos de productos, cada planta posee un determinado número de procesos, en cada uno de ellos se tiene como resultado un producto intermedio.. Al final del proceso todos los productos terminados fabricados en la planta se almacenan temporalmente en un Stack Buffer para su despacho en diferentes medios de transporte hacia los centros de distribución, a los cuales también pueden llegar productos importados. Los productos terminados se distribuyen directamente hacia los centros de consumo de un mercado específico en otros medios de transporte.

**Figura 4. Diseño del problema de producción-distribución para la cadena de suministro**



El modelo desarrollado será una aplicación del sector lácteo bajo el enfoque de análisis de inversión de Kendrick, et al (1984) en el cual se emplea el análisis costo-beneficio, esto con el fin de que decisiones económicas importantes acerca de la gestión de la cadena de suministro se realice en la etapa de diseño y no en la fase de evaluación.

El modelo se construye para estudiar las implicaciones de la decisión de integración de flujos de productos en los diferentes eslabones que componen la cadena a menor costo de operación. El modelo se resuelve para encontrar el conjunto de las actividades de producción y transporte que minimicen los costos al tiempo que satisface las necesidades del mercado sin violar las restricciones de capacidad de dichas unidades productivas., de esta forma, debido a la naturaleza de los viajes usados en las diferentes etapas de operación de la cadena, el modelo debe ser planteado como programación entera mixta.

Los modelos desarrollados en el siguiente capítulo no deben ser considerados como estudio definitivo para el sector escogido en el análisis de productividad, simplemente su desarrollo ofrecen una metodología muy útil para obtener conocimientos cuantificados el problema de integración tanto horizontal como vertical de los actores de la cadena. Es importante destacar desde el principio, sin embargo, que los modelos

no pueden sustituir las decisiones por parte de especialistas del sector, cuyas opiniones también se debe buscar antes de tomar decisiones. Los modelos se deben utilizar como una herramienta para considerar el estudio de diferentes alternativas lo cual no implica que se deban pasar por alto los detalles de cualquier alternativa propuesta, que sólo los expertos pueden evaluar.

**3.3.1 Supuestos.** Los siguientes son los supuestos considerados en la construcción del modelo:

- La metodología supone demanda conocida de productos finales.
- La variedad de productos finales entregados en los mercados son conocidas.
- No habrá sustitución entre productos finales.
- Los costos de las entradas y salidas del modelo son conocidos en el horizonte de planeación.
- No se considera la incertidumbre en el análisis.
- Número de proveedores, plantas, centros de distribución, centros de consumo y sus capacidades son conocidos.
- El inventario de productos terminados almacenados en Buffer y centros de distribución son conocidos desde el inicio y al final de cada horizonte de planificación.
- Las restricciones a la capacidad de suministro de materiales, las limitaciones en la capacidad de almacenamiento y las capacidades de distribución son conocidos.
- No se contemplan retrasos en el envío de materias primas a las plantas de producción, en el envío de productos terminados a centros de consumo.

**3.3.2 Índices, parámetros y variables.** El modelo propuesto de cadena de suministro en el presente trabajo está elaborado con los siguientes índices, parámetros y variables de decisión:

**3.2.2.1 Índices.** A continuación se muestran los índices empleados en la construcción del modelo

$pp = 1,2, \dots PP$	Plantas de proceso
$sb = 1,2, \dots SB$	Stack buffer
$h = 1,2, \dots H$	Hatos Clusterizados
$cd = 1,2, \dots CD$	Centros de distribución
$pr = 1,2, \dots, PR$	Productos
$pt(pr) = 1,2, \dots, PT$	Producto final
$pe(pr) = 1,2, \dots, PE$	Producto a exportar
$pi(pr) = 1,2, \dots, PI$	Productos intermedios
$mp(pr) = 1,2, \dots, MP$	Materias primas
$ph(pr) = 1,2, \dots, PH$	Productos en hatos
$pim(pr) = 1,2, \dots, PIM$	Productos a importar
$p = 1,2, \dots, P$	Procesos
$m = 1,2, \dots, M$	Mercados
$up = 1,2, \dots, UP$	Unidades productivas
$ue(up) = 1,2, \dots, UP$	Unidades de expansión
$t = 1,2, \dots, T$	Periodos de tiempo
$te(t) = 1,2, \dots, TE$	Periodos de expansión
$c = 1,2, \dots, C$	Niveles de calidad leche cruda
$si = 1,2, \dots, SI$	Segmentos de inversión
$zi = 1,2, \dots, ZI$	Medio de transporte entre plantas de proceso
$tp = 1,2, \dots, TP$	Medios de transporte a centros de distribución
$tm = 1,2, \dots, TM$	Medios de transporte a mercados
$tct = 1,2, \dots, TCT$	Transporte en carro-tanque de leche cruda a plantas
$u = 1,2, \dots, U$	Periodo de envío

**3.3.2.2 Parámetros.** Los siguientes son los parámetros empleados para el desarrollo del modelo propuesto:

$cp(pr,p)$	Coeficientes de producción por producto pr por proceso p
------------	--



$uc(up,p)$	Utilización de capacidad por unidad productiva $up$ en el proceso $p$
$cph(up,pp)$	Capacidad de producción de unidad productiva $um$ por planta de proceso $pp$ (miles de litros por semana)
$lechat(ph,h)$	Inventario de leche cruda $ph$ en hatos $h$ (miles de litros por semana)
$pc(ph,c,h)$	Precio de compra de leche cruda de calidad $c$ en hatos $h$ (\$ por miles de litros)
$d(pr,m,t)$	Demanda de derivados de leche $pr$ en mercado $m$ en el período de tiempo $t$ (miles de litros por semana)
$ne(t)$	Nivel de exportación por periodo de tiempo
$dsbcd(sb,cd)$	Distancia lineal de Stack Buffer $sb$ a centros de distribución $cd$ (km)
$dcdm(cd,m)$	Distancia lineal de centros de distribución $cd$ a mercados $m$ (km)
$dpp(pp,ip)$	Distancias lineales entre plantas (km)
$dhp(h,pp)$	Distancias lineales entre hatos y plantas(km)
$ctpt(cd,m)$	Costo de transporte a mercados: productos terminados (\$ por miles de litros)
$ctr cd(sb,cd)$	Costo de transporte: envíos a centros de distribución (\$ per ton)
$ctr pp(pp,ip)$	Costo de transporte: envíos entre plantas (\$ por ton)
$ctr hp(h,pp)$	Costo de transporte: hatos a plantas (\$ por ton)
$ctrim(m)$	Costo de transporte: importaciones (\$ por ton)
$mue(cd)$	Costo de transporte: exportaciones (\$ por ton);
$inv(ue,*)$	Costos de inversión
$capcp(tp)$	Capacidad de carga de camión $tp$ en kilogramos de la flota de plantas
$capccd(tx)$	Capacidad de carga del camión $tx$ en miles de kilogramos de la flota del CD
$ccv(tp)$	Capacidad de carga en metros cúbicos del camión tipo $tp$ de la flota de plantas
$ccvcd(tx)$	Capacidad de carga en metros cúbicos del camión tipo $o$ de la flota de CDs
$pep(pt)$	Peso por unidad del producto final en kilogramos (miles de ltrs)
$vp(pt)$	Volumen ocupado en metros cúbicos por el producto final (miles de ltrs)

$nmaxv(tp)$	Número máximo de viajes del camión tipo tp
$nmaxvcd(tx)$	Número máximo de viajes del camión tipo tx
$cct(tp)$	Cantidad de camiones tipo tp disponibles en la flota de plantas
$cctcd(tx)$	Cantidad de camiones tipo tx disponibles en la flota de CDs
$caphl(tct)$	Capacidad de carga en litros de carro-tanque
$nmaxhl(tct)$	Número máximo de viajes del carro-tanque tct
$cchl(tct)$	Cantidad de carro-tanques
$cahl(tct,t)$	Costo alistamiento carro-tanque en la semana t
$cac(tp,t)$	Costo de alistamiento del camión tp en la semana t
$caccd(tx,t)$	Costo de alistamiento del camión tipo tx en la semana t
$mwip(pi,pp,t)$	Máximo wip permitido por producto pi en planta pp en periodo t
$\omega(ue,si,pp)$	Costo de segmentación de planta (millones \$)
$\delta(t)$	Factor de descuento
$ndes$	Nivel de recursos
$UHT$	Producción obligada de leche (miles lts por semana)
$pmp(mp)$	Precios de materiales (\$ por miles de litros)
$pim(pr)$	Precios importación (\$ por miles de litros)
$pex(pe)$	Precios exportación (\$ por miles de litros)
$lead(sb,zi)$	Demoras en entrega en el Stack Buffer sb mediante medio de transporte zi
$lead1(sb,cd,tp)$	Demoras en entregas del Stack Buffer sb a centros de distribución cd por el medio de transporte tp
$lead2(cd,m,tx)$	Demoras en entregas del centro de distribución cd a mercados m por el medio de transporte tx
$nmd(tp)$	Número de medios de transporte disponibles del tipo tp
$nmcdc(tx)$	Número de medios de transporte disponibles del tipo tx
$maxcp(pt,sb,t)$	Máxima capacidad de almacenamiento del producto final pt en sb en periodo de tiempo t (miles de lts)
$maxccd(pt,cd,t)$	Máxima capacidad de almacenamiento del producto final pt en centro de distribución cd en periodo de tiempo t
$invini(pt,cd)$	Inventario inicial del producto pt en el centro de distribución cd.

$maximp(pt,cd,t)$	Máximo nivel de importación en el centro de distribución cd en el periodo t
$cisb(pt,pp,t)$	Costo de inventario del producto pt en planta pp en el periodo de tiempo t
$cicd(pt,cd,t)$	Costo de inventario producto pt en centro de distribución cd en el periodo t
$Ing(pt,m)$	Ingresos por producto enviado a mercado m (\$ por miles de lts)
$cfp(pp)$	Costo fijo de operación por semana de la planta pp
$cfcd(cd)$	Costo fijo de operación por semana del centro de distribución cd
$cop(p,pp)$	Costo variable de operación por proceso p en planta i

**3.3.2.3 Variables.** A continuación se enumeran las variables en el modelo desarrollado para el análisis de productividad de la cadena de suministro. Los niveles de proceso; envíos de productos desde proveedores, entre plantas de proceso, hacia centros de distribución y centros de consumo; compras nacionales de insumos y materias primas; importaciones y exportaciones de productos finales. Las variables categóricas de costo son todos ampliamente trabajadas: costos de distribución, transporte, producción, inversión, compra de materiales. Así, las variables en el modelo son:

$np(p,pp,t)$	Nivel proceso p en planta de proceso pp en el periodo t
$rp(ph,c,h,t)$	Requerimientos de producción de leche cruda ph de calidad c en cada hato h en periodo t
$clc(pr,pp,t)$	Cantidad de leche cruda consumida por la planta pp en el periodo t
$xptsb(pr,sb,cd,t)$	Envíos de productos finales pr desde Stack Bufer sb a centros de distribución cd en periodo t
$xppsb(pr,pp,sb,t)$	Envíos de productos pr de planta pp a Stack Buffer sb en el periodo t
$xpi(pr,pp,pi,t)$	Envíos de productos en proceso pr entre plantas i en el periodo t
$xlcr(pr,h,pp,t)$	Envío de leche cruda de zonas hato h a planta de proceso pp en periodo t

$xpt(pr,cd,m,t)$	Envío de productos finales pr desde centro de distribución cd a mercado m en el período t
$cpn(pr,pp,t)$	Compra de productos nacionales pr para la planta pp en el periodo t
$cx(up,pp,t)$	Capacidad de expansión de unidad productiva m en la planta i en el periodo de tiempo t
$s(si,ue,pp,t)$	Segmento de inversión si de unidad de expansión ue en planta de proceso pp el periodo t
$y(ue,pp,te)$	variable binaria para activar unidad de expansión ue en la planta pp en el periodo de tiempo te
$xim(pt,cd,t)$	Cantidad de importaciones de productos finales pt a centro de distribución cd en el periodo t
$ximmp(pr,pp,t)$	Importaciones de materiales pr en las plantas de proceso pp en el periodo de tiempo t
$ex(pr,cd,t)$	Exportaciones de productos pr desde centro de distribución cd en el periodo de tiempo t
$wip(pr,pp,t)$	Wip producto intermedio pi en planta pp en el periodo t
$invpt(pr,sh,t)$	Inventario producto terminado pt en Stack Buffer sb en período t
$invlec(pr,pp,t)$	Inventario de leche cruda ph en planta pp en periodo t
$invcd(pr,cd,t)$	Inventario producto terminado pt en centro distribución cd en periodo t
$nvc(tp,sh,cd,t)$	Número de viajes del camión tp desde stack bufer sb hasta el centro de distribución cd en la semana t
$nvcc(tx,cd,m,t)$	Número de viajes del camión tx desde el centro de distribución cd hasta el mercado m en la semana t
$nvhl(tct,h,pp,t)$	Número de viajes del carro-tanque tct desde el hato h hasta la planta pp en la semana t
$ctotal$	Costo total (millones de \$)
$ccap(t)$	Costo de capital por periodo t (millones de \$)
$cmat(t)$	Costo de materiales por periodo t (millones de \$)
$ctrans(t)$	Costo de transporte por periodo t (millones de \$)

$cimp(t)$	Costo de importar por periodo t	(millones de \$)
$cpre(t)$	Costo preparación por periodo t	(millones de \$)
$ingr(t)$	Ingresos por periodo t	(millones de \$)
$costdist$	Costo variable de distribución	
$costprod$	Costo variable de producción	
$costmat$	Costo de materiales	
$entregascc(cf)$	Entregas de productos finales en centros de mercados	
$viajes$	Viajes requeridos de flota de vehículos	
$ventas$	Ingresos por productos finales entregados	

Las variables  $y_{ue,pp,te}$  son las variables binarias asociadas con la expansión de la unidad productiva  $up$  en la planta de proceso  $pp$  en el período  $te$ , a fin de indicar si existe cualquier expansión de la unidad productiva en la planta en particular y período de tiempo.

La producción de leche cruda en las zonas de hatos se representa con la variable  $rp_{ph,c,h,t}$  la cual se supone que está disponible en los depósitos de diferente calidad. El índice de calidad  $c$  representa la calidad de la leche cruda que puede ser distribuida desde los hatos, así un nivel de calidad 1 refiere a leche con los estándares de buenas prácticas ganadeas (bpg) y conservada en frío, un nivel de calidad 2 a leche refrigerada y calidad 3 a leche sin refrigerar y mezclada con leche sin requerimientos bpg.

**3.3.3 Ecuaciones.** Todas las restricciones del modelo se mostrarán en esta sección. El primer conjunto de restricciones de balance hace referencia al balance de productos  $pr$  en plantas  $pp$  en el periodo de tiempo  $t$ . La ecuación (1) la describe a continuación:

$$\begin{aligned}
MB: \sum_{p=1}^P cp_{pr,p} * np_{p,pp,t} + cpn_{pr,pp,t|pr \in ph} + clc_{pr,pp,t|pr \in ph} + ximmp_{pr,pp,t|pr \in pi} + wip_{pr,pp,t-1|pr \in pi} \\
= \sum_{ip=1}^P xpi_{pr,pp,ip,t|pr \in pi} + \sum_{sb=1}^{SB} xpps_{pr,pp,sb,t|pr \in pt} + wip_{pr,pp,t|pr \in pi} \quad \forall pr, pp, t \quad (1)
\end{aligned}$$

Las restricciones de balance de materiales para las plantas en este modelo poseen un procedimiento distinto para la desagregación de los productos básicos. Debido a la integración de productos finales, productos intermedios y materias primas. Este tratamiento fue posible porque los tres conjuntos son disjuntos, es decir, ninguna mercancía pertenecía a dos conjuntos diferentes. Si los conjuntos no había sido disjuntos, un producto determinado podría ser a la vez un producto final y un producto intermedio. Por lo tanto, sería necesario escribir restricciones para los productos finales, los productos intermedios y los productos que son tanto intermedios y finales. Cuando los conjuntos de otras materias primas, como los productos exportados o productos enviados entre plantas, se agregan al modelo de la situación se vuelve aún más complicada. Puede ser necesario para escribir seis u ocho tipos de restricciones de balance de materiales.

Un conjunto único de balance de materiales para las plantas es utilizado. Luego se deja que el patrón de las entradas de la matriz de entrada-salida para determinar qué productos son productos finales, productos intermedios, materias primas, y una combinación de éstos. La ecuación hace referencia a que los productos elaborados en las plantas de proceso debe ser a lo sumo igual a los productos enviados desde las plantas ya sea como producto en proceso a otras plantas o como producto terminado a los almacenamientos temporales o Stack Buffer de cada planta.

De igual manera ocurre en la restricción de consumo de leche cruda en planta, este consumo debe ser a lo sumo igual al envío de leche cruda desde cada proveedor como se muestra en la ecuación (2).

$$ML: \sum_{h=1}^H xlc_{pr,h,pp,t|pr \in ph} + invlec_{pr,pp,t-1|pr \in ph} = clc_{pr,pp,t|pr \in ph} + invlec_{pr,pp,t} \quad \forall pr, pp, t \quad (2)$$

El balance envíos leche cruda para plantas pp en periodo t exige que la leche cruda se transportará a las plantas en medida que los hatos producen. Se escriben como

$$MBM: \sum_{c=1}^C rp_{ph,c,h,t} = \sum_{pp=1}^{PP} xlc_{ph,h,pp,t} \quad \forall ph, h, t \quad (3)$$

En la ecuación (4) se describe el balance de envíos de productos finales en centros de distribución cd en el periodo de tiempo t. Ésta ecuación describe como los envíos desde cada almacenamiento temporal sb sumado a las importaciones de productos finales y los inventarios en centros de distribución deben ser iguales a los envíos a los mercados m más las exportaciones de productos terminados y los inventaros del periodo.

$$MP: \sum_{sb=1}^{SB} xptsb_{pr,sb,cd,t|pr \in pt} + xim_{pt,cd,t} + invcd_{pr,cd,t-1|pr \in pt} \\ = \sum_{m=1}^M xpt_{pr,cd,m,t|pr \in pt} + ex_{pr,cd,t|pr \in pt} + invcd_{pr,cd,t|pr \in pt} \quad \forall pr, cd, t \quad (4)$$

El balance de productos finales en el Stack Buffer sb en el periodo t se describe en la ecuación (5) indicando como los productos finales de la línea de producción más el inventario anterior de productos pt deben ser iguales a los envíos a cada almacenamiento temporal sb sumado el inventario restante.

$$MSB: \sum_{pp=1}^{PP} xpps_{pr,pp,sb,t|pr \in pt} + invpt_{pr,sb,t-1|pr \in pt} \\ = \sum_{cd=1}^{CD} xptsb_{pr,sb,cd,t|pr \in pt} + invpt_{pr,sb,t|pr \in pt} \quad \forall pr, sb, t \quad (5)$$

La ecuación (6) indica como los envíos de productos finales o terminados a los diferentes mercados deben ser mayores a la demanda mínima establecida

$$MR: \sum_{cd=1}^{CD} xpt_{pr,cd,m,t|pr \in pt} \geq d_{pr,m,t|pr \in pt} \quad \forall pr, m, t \quad (6)$$

El siguiente conjunto de restricciones son las limitaciones de capacidad. En primer lugar, es necesario incluir una restricción la capacidad de producción de la planta de proceso pp en la ecuación (7) se muestra como la utilización de esa capacidad no puede superar la capacidad de producción de cada unidad productiva en el periodo analizado teniendo en cuenta posibles expansiones de la misma.

$$CC: \sum_{pp=1}^{PP} uc_{up,p} * np_{p,pp,t} \leq cph_{up,pp} + \sum_{t'=1}^{T'} cx_{up,pp,t'|up \in ue} \quad \forall up, pp, t \quad (7)$$

La ecuación (8) muestra cómo se calcula la capacidad de expansión de una unidad productiva up. Esta capacidad de expansión es el resultado del producto de los tamaños de segmentos de inversión calculados en los parámetros por el nivel de segmento a expandir.

$$IH: cx_{ue,pp,t} = \sum_{si=1}^{SI} sp_{si,ue} * s_{si,ue,pp,t} \quad \forall ue, pp, t \quad (8)$$

Para el cálculo del nivel de segmento a expandir se utiliza una variable binaria de activación, la ecuación (9) muestra como la suma de los niveles de expansión de los segmentos deben ser cero en caso de no activación de cualquier nivel o uno si se activa algún nivel de segmento de inversión de la unidad productiva ue de la planta de proceso pp.

$$IC: y_{ue,pp,t} = \sum_{si=1}^{SI} s_{si,ue,pp,t} \quad \forall ue, pp, t \quad (9)$$



La ecuación (10) indica que las exportaciones de productos no pueden superar el máximo nivel de exportación calculado.

$$EB: \sum_{pe=1}^{PE} \sum_{cd=1}^{CD} ex_{pe,cd,t} \leq ne_t \quad \forall t \quad (10)$$

La ecuación (11) indica una restricción en la utilización de las unidades productivas de normalización y tratamiento térmico para la elaboración de determinada capacidad de elaboración de leche UHT.

$$ZB: np_{normalización,pp,t} + np_{trat.termico,pp,t} \leq UHT \quad \forall pp,t \quad (11)$$

La capacidad de envío de leche cruda de calidad c desde zona hatos está representada en la ecuación (12), es el resultado de nivel de recursos a usar multiplicado por el inventario de productos en zona hatos. En este caso tratándose de un producto perecedero como la leche toda la producción de los hatos destinada para la venta debe ser enviada las plantas de proceso en el mismo periodo de tiempo, de esta manera el valor de  $\theta$  es 1.

$$CCM: \sum_{c=1}^c rp_{ph,c,h,t} \leq (rl * invhat_{ph,h})/\theta \quad (12)$$

La restricción de cantidad de viajes del camión tipo tp desde la planta tipo pp hasta el Centro de Distribución tipo cd está representada en la ecuación (13). Esta restricción indica que el número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de trasporte tp desde el centro de almacenamiento temporal sb hasta el centro de distribución cd debe ser menor o a lo sumo igual a la cantidad de camiones tp disponibles en la flota de plantas de proceso por el número máximo de viajes a realizar por el camión tipo tp.

$$CVPCD: \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} nvc_{tp,sb,cd,t} \leq cct_{tp} * nmaxv_{tp} \quad \forall tp, t \quad (13)$$

La restricción de cantidad de viajes del camión tipo tx desde el Centro de Distribución tipo cd a los Centros de Consumo m se representa en la ecuación (14). Esta restricción indica que el número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de transporte tx desde el centro de distribución cd hasta el centro de consumo o mercado m debe ser menor o a lo sumo igual a la cantidad de camiones tx disponibles en la flota de centros de distribución por el número máximo de viajes a realizar por el camión tipo tx.

$$VCD: \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{m=1}^M nvcc_{tx,cd,m,t} \leq cctcd_{tx} * nmaxcd_{tx} \quad \forall tx, t \quad (14)$$

La restricción de cantidad de viajes disponibles del carro-tanque tct desde el Centro de acopio de leche en hatos h a las plantas de proceso pp se representa en la ecuación (15). Esta restricción indica que el número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de transporte tct desde el centro de acopio de leche h hasta las plantas de proceso pp debe ser menor o a lo sumo igual a la cantidad de carro-tanques o cisternas tct disponibles en la flota de plantas de proceso por el número máximo de viajes a realizar por el camión tipo tct.

$$VH: \sum_{h=1}^H \sum_{pp=1}^{PP} nvhl_{tct,h,pp,t} \leq cchl_{tct} * nmaxhl_{tct} \quad \forall tct, t \quad (15)$$

La siguiente restricción indica que el peso de la unidades a transportar de productos terminados pt desde el Stack Buffer sb a los centros de distribución cd en los medios de transporte tp no pueden ser mayores a capacidad de carga del camión tp en miles de kilogramos por el el número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de transporte tp por la cantidad de camiones tp disponibles en el instante  $t_{sb,cd,t} = t - Lead1_{sb,cd,t}$  representada en la ecuación (16).

$$CPCDKG: \sum_{pt=1}^{PT} xptsb_{pt,sb,cd,t,t_{sb,cd,t},tp} * pep_{pt} \leq capcp_{tp} * nvc_{tp,sb,cd,t} * cct_{tp} \quad \forall sb, cd, tp, t_{sb,cd,t}, tp \quad (16)$$

La ecuación (17) indica que el peso de la unidades a transportar de productos terminados pt desde los diferentes centros de distribución cd a los centros de consumo m no pueden ser mayores a capacidad de carga del camión tx en mieles de kilogramos por el número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de trasporte tx por la cantidad de camiones tx disponibles.

$$CCDCKG: \sum_{pt=1}^{PT} xpt_{pt,cd,m,t} * pep_{pt} \leq capccd_{tx} * nvcc_{tx,cd,m,t} * cctcd_{tx} \quad \forall cd, m, tx, t \quad (17)$$

La siguiente restricción indica que el volumen de la unidades a transportar de productos terminados pt desde el Stack Buffer sb a los centros de distribución cd en los medios de transporte tp en el instante  $t_{sb,cd,t} = t - Lead1_{sb,cd,t}$  no pueden ser mayores al volumen de carga del camión tp en metros cúbicos por el número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de trasporte tp por la cantidad de camiones tp disponibles. Esta ecuación es representada en la ecuación (18).

$$CPCDV: \sum_{pt=1}^{PT} xptsb_{pt,sb,cd,t,t_{sb,cd,t},tp} * Vp_{pt} \leq ccv_{tp} * nvc_{tp,sb,cd,t} * cct_{tp} \quad \forall sb, cd, tp, t \quad (18)$$

La restricción de capacidad de carga en volumen para el transporte de productos terminados pt hacia el centro de consumo m se presenta en la ecuación (19). Esta indica que el volumen de la unidades a transportar de productos terminados pt desde los diferentes centros de distribución cd a los centros de consumo m no pueden ser mayores a capacidad de volumen de carga del camión tx en metros cúbicos por el número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de trasporte tx por la cantidad de camiones tx disponibles.

$$CCDV: \sum_{pt=1}^{PT} xpt_{pt,cd,m,t} * vp_{pt} \leq capccd_{tx} * nvcc_{tx,cd,m,t} * cctcd_{tx} \quad \forall cd, m, tx, t \quad (19)$$

La restricción de capacidad de carga en miles de litros de los medios de transporte tct se muestra en la ecuación (20). Esta ecuación indica que el volumen de la unidades a transportar en litros de leche cruda ph desde los diferentes centros de acopio h a las plantas de proceso pp no pueden ser mayores a capacidad de volumen de carga del camión tct en miles de litros por el número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de transporte tct por la cantidad de camiones tx disponibles.

$$CCHL: \sum_{ph=1}^{PH} xlc_{ph,h,pp,t} \leq cahl_{tct} * nvhl_{tx,cd,m,t} * caphl_{tct} \quad \forall \quad h, pp, tct, t \quad (20)$$

La restricción de capacidad de carga en miles de litros de los medios de transporte zi se muestra en la ecuación (21). Esta ecuación indica que el volumen de la unidades a transportar en litros de leche procesada pr desde las diferentes plantas de proceso pp a las plantas de proceso ip no pueden ser mayores a capacidad de volumen de carga del camión zi en miles de litros por el número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de transporte zi por la cantidad de camiones zi disponibles en el instante  $t_{pp,ip,t} = t - Lead_{pp,ip,t}$

$$CCPP: \sum_{pt=1}^{PT} xpi_{pr,pp,ip,t,t_{pp,ip,t},zi} * Vp_{pt} \leq cwip_{zi} * nvpp_{zi,pp,ip,t} * capwip_{zi} \quad \forall \quad pp, ip, tzi, t \quad (21)$$

La restricción de cantidad de viajes disponibles del carro-tanque zi desde el las plantas de proceso pp a las plantas de proceso ip se representa en la ecuación (22). Esta restricción indica que el número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de transporte zi desde la planta de proceso pp hasta las plantas de proceso ip debe ser menor o a lo sumo igual a la cantidad de carro-tanques o cisternas zi disponibles en la flota de plantas de proceso por el número máximo de viajes a realizar por el camión tipo zi.

$$VPP: \sum_{h=1}^H \sum_{pp=1}^{PP} nvpp_{zi,pp,ip,t} \leq ccwip_{zi} * nmaxpp_{zi} \quad \forall \quad tct, t \quad (22)$$

La siguiente restricción indica que el volumen de la unidades a transportar de productos terminados  $pt$  desde el Stack Buffer  $sb$  a los centros de distribución  $cd$  en los medios de transporte  $tp$  en el instante  $t_{sb,cd,t} = t - Lead1_{sb,cd,t}$  no pueden ser mayores al máximo número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de trasporte  $tp$  por la cantidad de camiones  $tp$  disponibles. Esta ecuación es representada en la ecuación (23).

$$CPCD\text{MAX: } \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{t=1}^T x_{ptsb_{pt,sb,cd,t,t_{sb,cd,t},tp}} * vp_{pt} \leq ccv_{tp} * nmaxv_{tp,sb,cd,t} * cct_{tp} \quad \forall tp \quad (23)$$

La restricción de capacidad de máximo número de viajes para el transporte de productos terminados  $pt$  hacia el centro de consumo  $m$  se presenta en la ecuación (24). Esta indica que el número de viajes máximo a transportar de productos terminados  $pt$  desde los diferentes centros de distribución  $cd$  a los centros de consumo  $m$  no pueden ser mayores al número de viajes a emplear en todo el horizonte de planeación para cada medio de trasporte  $tx$  por la cantidad de camiones  $tx$  disponibles.

$$CCCD\text{MAX: } \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{t=1}^T x_{pt_{pt,cd,m,t}} * vp_{pt} \leq cctcd_{tx} * nmaxvcd_{tx,cd,m,t} * ccvcd_{tx} \quad \forall tp \quad (24)$$

La siguiente restricción (25) muestra que el número máximo de viajes a realizar para el transporte  $tp$ .

$$\begin{aligned} DTRAN &= nvc_{tp,sb,cd,t} \\ &= nmaxv_{tp} * nmd_{tp} \end{aligned} \quad (25)$$

La siguiente restricción (26) muestra que el número máximo de viajes a realizar para el transporte  $tx$ .

$$\begin{aligned} DTRANCD &= nvcc_{tx,cd,m,t} \\ &= nmaxvcd_{tx} * nmdcdd_{tx} \end{aligned} \quad (26)$$

La ecuación (27) indica el número máximo de viajes a realizar para el transporte tct.

$$\begin{aligned} DTRANH &= nvhl_{tct,h,pp,t} \\ &= nmaxvh_{tct} * nmdh_{tct} \end{aligned} \quad (27)$$

La ecuación (28) indica el número máximo de viajes a realizar para el transporte zi.

$$\begin{aligned} DTRANPP &= nvpp_{zi,pp,ip,t} \\ &= nmaxpp_{tct} * nmpp_{tct} \end{aligned} \quad (28)$$

La ecuación (29) muestra que el nivel de exportación no puede ser mayor que el máximo permitido por políticas de la organización.

$$MAXV: xim_{pt,cd,t} \leq maximp_{pt,cd}, \quad \forall pt, cd, t \quad (29)$$

La ecuación (30) muestra el nivel de inventario inicial del producto terminado en el Stack Buffer sb al inicio del periodo de planeación..

$$INVIN: invpt_{pt,sb,semana0} = invini_{pt,sb} \quad \forall pt, sb \quad (30)$$

La ecuación (31) indica que el nivel de inventario para cada producto terminado en el Stack Buffer sb no puede superar el máximo nivel permitido en cada periodo t.

$$MISB: invpt_{pt,sb,t} \leq maxsb_{pt,sb,t} \quad \forall pt, sb, t \quad (31)$$

La ecuación (32) indica que el nivel de inventario para cada producto terminado en el centro de distribución cd no puede superar el máximo nivel permitido en cada periodo t

$$MICD: invcd_{pt,cd,t} \leq maxcd_{pt,cd,t} \quad \forall pt, cd, t \quad (32)$$

La ecuación (33) indica el nivel de inventario de producto en proceso pi en la planta pp al inicio del periodo de planeación es cero.

$$WIN: wip_{pi,pp,semana0} = 0 \quad \forall \quad pi, pp \quad (33)$$

La ecuación (34) indica que el nivel de inventario de producto en proceso pi en la planta pp no puede superar el máximo nivel permitido en cada periodo t

$$MAXW: wip_{pi,pp,t} \leq mwip_{pi,pp,t} \quad \forall \quad pi, pp, t \quad (34)$$

La restricción (35) indica que todo lo que se envíe de cada tipo de producto desde cada centro de distribución al mercado m en cada periodo, debe ser a lo sumo igual a los envíos que se hacen de cada tipo de producto en cada stack buffer en cada periodo.

$$RCCD: \sum_{cd} \sum_m^{CD} xpt_{pt,cd,m,t} \leq \sum_{sb=1}^{SD} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{t_{sb,cd,t}=t-lead} \sum_{tp=1}^{TP} xptsb_{pt,sb,cd,t,t_{sb,cd,t},tp} \quad \forall \quad pt, t \quad (35)$$

La restricción (36) indica que el número de viajes del camión tipo tp desde el stack buffer sb hasta el centro de distribución en cada periodo de tiempo debe ser a lo sumo igual a un número máximo establecido para cada periodo.

$$NMP: nvc_{tp,sb,cd,t} \leq maxnvm_{tp,sb,cd,t} \quad \forall \quad tp, sb, cd, t \quad (36)$$

La restricción (37) indica que el número de viajes del camión tipo tx desde el centro de distribución a cada centro de consumo m en cada periodo de tiempo debe ser a lo sumo igual a un número máximo establecido para cada periodo.

$$NVO: nvcc_{tx,cd,m,t} \leq maxnvo_{tx,cd,m,t} \quad \forall \quad tx, cd, m, t \quad (37)$$

La restricción (38) indica que el número de viajes del carro-tanque tipo tct desde el centro de acopio h hasta la planta de proceso pp en cada periodo de tiempo debe ser a lo sumo igual a un número máximo establecido para cada periodo.

$$NVH: nvhl_{tct,h,pp,t} \leq maxnvh_{tct,h,pp,t} \quad \forall \quad tct, h, pp, t \quad (38)$$

En la ecuación (39) se indica que todo lo los envíos de cada tipo de producto desde el stack buffer sb a los centros de distribución cd , debe ser a lo sumo igual a los envíos que se hacen de cada tipo de producto a cada stack buffer en cada periodo.

$$ENVCD: \sum_{sb=1}^{SD} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{t_{sb,cd,t}=t-lead}^{TP} x_{ptsb_{pt,sb,cd,t,t_{sb,cd,t},tp}} \leq \sum_{pp=1}^{PP} \sum_{sb=1}^{SB} x_{pps_{pt,pp,sb,t}} \quad \forall pt, t \quad (39)$$

La ecuación (40) indica que el nivel de inventario de leche cruda en la planta de proceso pp no puede superar el máximo nivel permitido en cada periodo t

$$IINILC: invlec_{ph,pp,t} \leq invmaxlp_{ph,pp,t} \quad \forall ph, pp, t \quad (40)$$

El costo de capital que se representa en la ecuación (41) muestra cada una de las diferentes inversiones que se realizan en cada periodo de tiempo para el funcionamiento de la cadena de suministro. Estas inversiones hacen referencia al capital invertido en expansiones de capacidad, costo de mantenimiento de inventarios a lo largo del sistema logístico, los costos fijos de operación de plantas de proceso y centros de distribución y el costo variable de operación en cada planta de proceso.

$$\begin{aligned} CCAP: \phi cap_t = & \sum_{t'=1}^T \sum_{ue=1}^{UE} \sum_{si=1}^{SI} \sum_{pp=1}^{PP} \omega_{ue,si,pp} * S_{si,ue,pp,t'} + \sum_{pr=1}^{PR} \sum_{pp=1}^{PP} wip_{pr,pp,t|pr \in pi} * cwip_{pr,pp|pr \in pi} \\ & + \sum_{pr=1}^{PR} \sum_{sb=1}^{SB} invpt_{pr,sb,t|pr \in pt} * cinvpt_{pr,sb|pr \in pt} \\ & + \sum_{pr=1}^{PR} \sum_{cd=1}^{CD} invcd_{pr,cd,t|pr \in pt} * cinvcd_{pr,cd|pr \in pt} + \sum_{pp=1}^{PP} cfp_{pp} * tiempo \\ & + \sum_{cd=1}^{CD} cfdc_{cd} * tiempo + \sum_{p=1}^P \sum_{pp=1}^{PP} cop_{p,pp} * np_{p,pp,t} \quad \forall t \end{aligned} \quad (41)$$



Los costos de materiales se representan en la ecuación (42) e indica el costo por la adquisición de materias primas y materiales para la elaboración de los productos ofrecidos a los usuarios finales.

$$CMP: \phi mp_t = \sum_{mp=1}^{MP} \sum_{pp=1}^{PP} pmp_{mp,pp,t} * cpn_{mp,pp,t} + \sum_{ph=1}^{ph} \sum_{c=1}^C \sum_{h=1}^H pc_{ph,c,h} * rp_{ph,c,h,t} \quad \forall t \quad (42)$$

El costo de transporte hace referencia al costo por traslado de productos en proceso entre plantas, productos importados y exportados, productos terminados desde plantas a centros de distribución y desde estos hacia los centros de consumo o mercados. La ecuación (43) muestra el cálculo de estos costos.

$$\begin{aligned} CTRA: \phi tra_t = & \sum_{pt=1}^{PT} \left( \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} ctrcd_{sb,cd} * xptsb_{pt,sb,cd,t} + \sum_{cd=1}^{CD} mue_{cd} * xim_{pt,cd,t} \right) \\ & + \sum_{ph=1}^{PH} \sum_{h=1}^H \sum_{pp=1}^{PP} ctrhp_{h,pp} * xlc_{ph,h,pp,t} + \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{pe=1}^{PE} mue_{cd} * ex_{pe,cd,t} \\ & + \sum_{pi=1}^{PI} \sum_{pp=1}^{PP-1} \sum_{ip=2}^{IP} ctrpp_{pp,ip} * xpi_{pi,pp,ip,t} \\ & + \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{m=1}^M ctpt_{cd,m} * xpt_{pt,cd,m,t} \quad \forall t \end{aligned} \quad (43)$$

El costo de alistamiento que se muestra en la ecuación (44) hace referencia al costo por preparar cada viaje de los diferentes tipos de camiones.

$$\begin{aligned} CPRE: \phi pre_t = & \sum_{tp=1}^{TP} \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} nvc_{tp,sb,cd,t} * cac_{tp,t} + \sum_{tx=1}^{TX} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{m=1}^m nvcc_{tx,cd,m,t} * cacd_{tx,t} \\ & + \sum_{tct=1}^{TCT} \sum_{h=1}^H \sum_{pp=1}^{PP} nvcl_{tct,h,pp} * cahl_{tct,t} \quad \forall t \end{aligned} \quad (44)$$

Ingresos por ventas se calculan por cada producto final entregado en cada centro de consumo sumado a cada producto exportado. Se representa en la ecuación (45).

$$IVEN: \phi ingr_t = \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{m=1}^M xpt_{pt,cd,m,t} * ing_{pt,m} + \sum_{pe=1}^{PE} \sum_{cd=1}^{CD} ex_{pe,cd,t} * pex_{pe} \quad \forall t \quad (45)$$

Los costos de importar se calculan por medio de la ecuación (46) y representa la suma de las importaciones realizadas en cada eriodo de tiempo por conceptos de materias primas y productos importados.

$$CIMP: \phi imp_t = \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{cd=1}^{CD} pimp_{pt} * ximp_{pt,cd,t} + \sum_{pim=1}^{PIM} \sum_{pp=1}^{PP} pimp_{pim} * ximp_{pim,pp,t} \quad \forall t \quad (46)$$

En la función de costo total que se muestra en la ecuación (47) se indica que la función objetivo es la sumatoria de los costos anteriormente explicados por el parámetro  $\theta$ . Esto es debido a que los costos en los componentes pueden ser calculados sobre una base diferente a la semanal, es decir cada periodo de tiempo puede incluir una o más semanas de planeación, así se hace necesario multiplicar el costo de cada periodo por el número de semanas en cada periodo de tiempo. Para l caso expuesto anteriormente el valor de  $\theta$  es 1. El valor de  $\delta_t$  hace referencia al factor de descuento para calcular en términos de valor presente los diferentes costos por cada periodo de tiempo considerados.

$$OBJ: FO = \sum_{t=1}^T \delta_t * \theta * (\phi cap_t + \phi mp_t + \phi tra_t + \phi pre_t + \phi imp_t) \quad (47)$$

**3.3.3.1 Medidas de desempeño.** Seguidamente se enumeran las variables a tener en cuenta para la medición del rendimiento y productividad del modelo

$$costodistribución = \sum_{t=1}^T \phi tra_t + \phi pre_t \quad (48)$$

$$costoproducción = \sum_{p=1}^P \sum_{pp=1}^{PP} \sum_{t=1}^T cop_{p,pp} * np_{p,pp,t} \quad (49)$$

$$costomateriales = \sum_{t=1}^T \phi m p_t \quad (50)$$

$$entregas = \sum_{t=1}^T \sum_{sb=1}^{SD} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{t_{sb,cd,t}=t-lead} \sum_{tp=1}^{TP} x p t s b_{pt,sb,cd,t,t_{sb,cd,t},tp} \quad \forall pt \quad (51)$$

$$viajesusados = \sum_{tp=1}^{TP} \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{t=1}^T n v c_{tp,sb,cd,t} + \sum_{tx=1}^{TX} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T n v c c_{tx,cd,m,t} +$$

$$\sum_{zi=1}^{ZI} \sum_{ip=1}^{IP} \sum_{pp=1}^{PP} \sum_{t=1}^T n v p p_{zi,pp,ip,t} + \sum_{tct=1}^{TCT} \sum_{h=1}^H \sum_{pp=1}^{PP} \sum_{t=1}^T n v h l_{tct,h,pp,t} \quad (52)$$

A continuación se muestra el modelo completo que representa por medio de programación entera mixta el funcionamiento de una cadena de suministros y el cálculo de algunas medidas de desempeño que ayudaran en el cálculo del rendimiento, eficiencia y productividad del sistema logístico analizado.

$$MB: \sum_{p=1}^P c p_{pr,p} * n p_{p,pp,t} + c p n_{pr,pp,t|pr \in ph} + c l c_{pr,pp,t|pr \in ph} + x i m m p_{pr,pp,t|pr \in pi} + w i p_{pr,pp,t-1|pr \in pi}$$

$$= \sum_{ip=1}^P x p i_{pr,pp,ip,t|pr \in pi} + \sum_{sb=1}^{SB} x p p s b_{pr,pp,sb,t|pr \in pt} + w i p_{pr,pp,t|pr \in pi} \quad \forall pr, pp, t \quad (1)$$

$$ML: \sum_{h=1}^H x l c_{pr,h,pp,t|pr \in ph} + i n v l e c_{pr,pp,t-1|pr \in ph} = c l c_{pr,pp,t|pr \in ph} + i n v l e c_{pr,pp,t} \quad \forall pr, pp, t \quad (2)$$

$$MBM: \sum_{c=1}^C r p_{ph,c,h,t} = \sum_{pp=1}^{PP} x l c_{ph,h,pp,t} \quad \forall ph, h, t \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
MP: \sum_{sb=1}^{SB} xptsb_{pr,sb,cd,t|pr \in pt} + xim_{pt,cd,t} + invcd_{pr,cd,t-1|pr \in pt} \\
= \sum_{m=1}^M xpt_{pr,cd,m,t|pr \in pt} + ex_{pr,cd,t|pr \in pt} + invcd_{pr,cd,t|pr \in pt} \quad \forall pr, cd, t
\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
MSB: \sum_{pp=1}^{PP} xppsb_{pr,pp,sb,t|pr \in pt} + invpt_{pr,sb,t-1|pr \in pt} \\
= \sum_{cd=1}^{CD} xptsb_{pr,sb,cd,t|pr \in pt} + invpt_{pr,sb,t|pr \in pt} \quad \forall pr, sb, t
\end{aligned} \tag{5}$$

$$MR: \sum_{cd=1}^{CD} xpt_{pr,cd,m,t|pr \in pt} \geq d_{pr,m,t|pr \in pt} \quad \forall pr, m, t \tag{6}$$

$$CC: \sum_{pp=1}^{PP} uc_{up,p} * np_{p,pp,t} \leq cph_{up,pp} + \sum_{t'=1}^{T'} cx_{up,pp,t'|up \in ue} \quad \forall up, pp, t \tag{7}$$

$$IH: cx_{ue,pp,t} = \sum_{si=1}^{SI} sp_{si,ue} * s_{si,ue,pp,t} \quad \forall ue, pp, t \tag{8}$$

$$IC: y_{ue,pp,t} = \sum_{si=1}^{SI} s_{si,ue,pp,t} \quad \forall ue, pp, t \tag{9}$$

$$EB: \sum_{pe=1}^{PE} \sum_{cd=1}^{CD} ex_{pe,cd,t} \leq ne_t \quad \forall t \tag{10}$$

$$ZB: np_{normalización,pp,t} + np_{trat.termico,pp,t} \leq UHT \quad \forall pp, t \tag{11}$$

$$CVPCD: \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} nvc_{tp,sb,cd,t} \leq cct_{tp} * nmaxv_{tp} \quad \forall tp, t \quad (12)$$

$$CVCD: \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{m=1}^M nvcc_{tx,cd,m,t} \leq cctcd_{tx} * nmaxcd_{tx} \quad \forall tx, t \quad (14)$$

$$VH: \sum_{h=1}^H \sum_{pp=1}^{PP} nvhl_{tct,h,pp,t} \leq cchl_{tct} * nmaxhl_{tct} \quad \forall tct, t \quad (15)$$

$$CPCDKG: \sum_{pt=1}^{PT} xptsb_{pt,sb,cd,t,t_{sb,cd,t},tp} * pep_{pt} \leq capcp_{tp} * nvc_{tp,sb,cd,t} * cct_{tp} \quad \forall sb, cd, tp, t \quad (16)$$

$$CCDKG: \sum_{pt=1}^{PT} xpt_{pt,cd,m,t} * pep_{pt} \leq capccd_{tx} * nvcc_{tx,cd,m,t} * cctcd_{tx} \quad \forall cd, m, tx, t \quad (17)$$

$$CPCDV: \sum_{pt=1}^{PT} xptsb_{pt,sb,cd,t,t_{sb,cd,t},tp} * Vp_{pt} \leq ccv_{tp} * nvc_{tp,sb,cd,t} * cct_{tp} \quad \forall sb, cd, tp, t \quad (18)$$

$$CCDV: \sum_{pt=1}^{PT} xpt_{pt,cd,m,t} * vp_{pt} \leq capccd_{tx} * nvcc_{tx,cd,m,t} * cctcd_{tx} \quad \forall cd, m, tx, t \quad (19)$$

$$CCHL: \sum_{ph=1}^{PH} xlc_{ph,h,pp,t} \leq cahl_{tct} * nvhl_{tx,cd,m,t} * caphl_{tct} \quad \forall h, pp, tct, t \quad (20)$$

$$CCPP: \sum_{pt=1}^{PT} xpi_{pr,pp,ip,t,t_{pp,ip,t},zi} * Vp_{pt} \leq cwip_{zi} * nvpp_{zi,pp,ip,t} * capwip_{zi} \quad \forall pp, ip, tzi, t \quad (21)$$

$$VPP: \sum_{h=1}^H \sum_{pp=1}^{PP} nvpp_{zi,pp,ip,t} \leq ccwip_{zi} * nmaxpp_{zi} \quad \forall tct, t \quad (22)$$

$$CPCD\text{MAX}: \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{t=1}^T xptsb_{pt,sb,cd,t} * vp_{pt} \leq ccv_{tp} * nmaxv_{tp,sb,cd,t} * cct_{tp} \quad \forall tp \quad (23)$$

$$CCCD\text{MAX}: \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{t=1}^T xpt_{pt,cd,m,t} * vp_{pt} \leq cctcd_{tx} * nmaxvcd_{tx,cd,m,t} * ccvcd_{tx} \quad \forall tp \quad (24)$$

$$\begin{aligned} DTRAN &= nvc_{tp,sb,j,t} \\ &= nmaxv_{tp} * nmd_{tp} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} DTRANCD &= nvcc_{tx,cd,m,t} \\ &= nmaxvcd_{tx} * nmdcdd_{tx} \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} DTRANH &= nvhl_{tct,h,pp,t} \\ &= nmaxvh_{tct} * nmdh_{tct} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} DTRANPP &= nvpp_{zi,pp,ip,t} \\ &= nmaxpp_{tct} * nmpp_{tct} \end{aligned} \quad (28)$$

$$MAXV: xim_{pt,cd,t} \leq maximp_{pt,cd}, \quad \forall pt, cd, t \quad (29)$$

$$INVIN: invpt_{pt,sb,semana0} = invini_{pt,sb} \quad \forall pt, sb \quad (30)$$

$$MISB: invpt_{pt,sb,t} \leq maxsb_{pt,sb,t} \quad \forall pt, sb, t \quad (31)$$

$$MICD: invcd_{pt,cd,t} \leq maxcd_{pt,cd,t} \quad \forall \forall pt, cd, t \quad (32)$$

$$WIN: wip_{pi,pp,semana0} = 0 \quad \forall \quad pi, pp \quad (33)$$

$$MAXW: wip_{pi,pp,t} \leq mwip_{pi,pp,t} \quad \forall \quad pi, pp, t \quad (34)$$

RCCD:

$$NMP: nvc_{tp, sb, cd, t} \leq maxnvm_{tp, sb, cd, t} \quad \forall \quad tp, sb, cd, t \quad (36)$$

$$NVO: nvcc_{tx, cd, m, t} \leq maxnvo_{tx, cd, m, t} \quad \forall \quad tx, cd, m, t \quad (37)$$

$$NVH: nvhl_{tct, h, pp, t} \leq maxnvh_{tct, h, pp, t} \quad \forall \quad tct, h, pp, t \quad (38)$$

$$ENVCD: \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} xptsb_{pt, sb, cd, t} \leq \sum_{pp=1}^{PP} \sum_{sb=1}^{SB} xpps_{pt, pp, sb, t} \quad \forall \quad pt, t \quad (39)$$

$$IINILC: invlec_{ph, pp, semana0} \leq invinlp_{ph, pp, semana0} \quad \forall \quad ph, pp \quad (40)$$

$$\begin{aligned} CCAP: \phi cap_t = & \sum_{t'=1}^T \sum_{ue=1}^{UE} \sum_{si=1}^{SI} \sum_{pp=1}^{PP} \omega_{ue, si, pp} * S_{si, ue, pp, t'} + \sum_{pr=1}^{PR} \sum_{pp=1}^{PP} wip_{pr, pp, t|pr \in pi} * cwip_{pr, pp|pr \in pi} \\ & + \sum_{pr=1}^{PR} \sum_{sb=1}^{SB} invpt_{pr, sb, t|pr \in pt} * cinvpt_{pr, sb|pr \in pt} \\ & + \sum_{pr=1}^{PR} \sum_{cd=1}^{CD} invcd_{pr, cd, t|pr \in pt} * cinvcd_{pr, cd|pr \in pt} + \sum_{pp=1}^{PP} cfp_{pp} * tiempo \\ & + \sum_{cd=1}^{CD} cfc_{cd} * tiempo + \sum_{p=1}^P \sum_{pp=1}^{PP} cop_{p, pp} * np_{p, pp, t} \quad \forall \quad t \end{aligned} \quad (41)$$

$$CMP: \phi mp_t = \sum_{mp=1}^{MP} \sum_{pp=1}^{PP} pmp_{mp,pp,t} * cpn_{mp,pp,t} + \sum_{ph=1}^{ph} \sum_{c=1}^C \sum_{h=1}^H pc_{ph,c,h} * rp_{ph,c,h,t} \quad \forall t \quad (42)$$

$$\begin{aligned} CTRA: \phi tra_t = & \sum_{pt=1}^{PT} \left( \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} ctrcd_{sb,cd} * xptsb_{pt,sb,cd,t} + \sum_{cd=1}^{CD} mue_{cd} * xim_{pt,cd,t} \right) \\ & + \sum_{ph=1}^{PH} \sum_{h=1}^H \sum_{pp=1}^{PP} ctrhp_{h,pp} * xlc_{ph,h,pp,t} + \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{pe=1}^{PE} mue_{cd} * ex_{pe,cd,t} \\ & + \sum_{pi=1}^{PI} \sum_{pp=1}^{PP-1} \sum_{ip=2}^{IP} ctrpp_{pp,ip} * xpi_{pi,pp,ip,t} \\ & + \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{m=1}^M ctpt_{cd,m} * xpt_{pt,cd,m,t} \quad \forall t \end{aligned} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} CPRE: \phi pre_t = & \sum_{tp=1}^{TP} \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} nvc_{tp,sb,cd,t} * cac_{tp,t} + \sum_{tx=1}^{TX} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{m=1}^m nvcc_{tx,cd,m,t} * cacd_{tx,t} \\ & + \sum_{tct=1}^{TCT} \sum_{h=1}^H \sum_{pp=1}^{PP} nvcl_{txt,h,pp} * cahl_{tct,t} \quad \forall t \end{aligned} \quad (44)$$

$$IVEN: \phi ingr_t = \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{m=1}^M xpt_{pt,cd,m,t} * ing_{pt,m} + \sum_{pe=1}^{PE} \sum_{cd=1}^{CD} ex_{pe,cd,t} * pex_{pe} \quad \forall t \quad (45)$$

$$CIMP: \phi imp_t = \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{cd=1}^{CD} pimp_{pt} * xim_{pt,cd,t} + \sum_{pim=1}^{PIM} \sum_{pp=1}^{PP} pimp_{pim} * ximp_{pim,pp,t} \quad \forall t \quad (46)$$

$$OBJ: FO = \sum_{t=1}^T \delta * \theta * (\phi cap_t + \phi mp_t + \phi tra_t + \phi pre_t + \phi imp_t) \quad (47)$$

Medidas de desempeño



$$costodistribución = \sum_{t=1}^T \phi tra_t \quad (48)$$

$$costoproducción = \sum_{p=1}^P \sum_{pp=1}^{PP} \sum_{t=1}^T cop_{p,pp} * np_{p,pp,t} \quad (49)$$

$$costomateriales = \sum_{t=1}^T \phi mp_t \quad (50)$$

$$entregas = \sum_{t=1}^T \sum_{sb=1}^{SD} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{t_{sb,cd,t}=t-lead} \sum_{tp=1}^{TP} xptsb_{pt,sb,cd,t,t_{sb,cd,t},tp} \quad \forall pt \quad (51)$$

$$viajesusados = \sum_{tp=1}^{TP} \sum_{sb=1}^{SB} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{t=1}^T nvc_{tp,sb,cd,t} + \sum_{tx=1}^{TX} \sum_{cd=1}^{CD} \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T nvcc_{tx,cd,m,t} +$$

$$\sum_{zi=1}^{ZI} \sum_{ip=1}^{IP} \sum_{pp=1}^{PP} \sum_{t=1}^T nvpp_{zi,pp,ip,t} + \sum_{tct=1}^{TCT} \sum_{h=1}^H \sum_{pp=1}^{PP} \sum_{t=1}^T nvhl_{tct,h,pp,t} \quad (52)$$

### 3.4 RESULTADOS DEL MODELO

Como modelo base para el presente trabajo se ha seleccionado una cadena de suministro compuesta por cuatro diferentes proveedores de leche, cuatro plantas de proceso de leche cruda y materiales en tres diferentes productos terminados como son leche UHT, mantequilla y yogurt. Cada una de estas plantas posee un almacenamiento temporal de productos en proceso y terminados para ser despachados a otras plantas o a los cuatro centros de distribución en los diferentes medios de transporte que se encuentran disponibles para tal fin. Los productos en los centros de distribución son direccionados a los cuatro diferentes centros de mercadeo que se contemplan en el modelo. De igual forma se establece la importación de materias primas para la elaboración de productos en

las diferentes plantas de proceso. En los centros de distribución se establece la importación de productos terminados para ser entregados en los centros de consumo.

En cuanto a los medios de transporte se han establecido para el transporte de productos finales a los centros de consumo vehículos tipo C3ttm, C3 Y C2; para el transporte de productos terminados a centros de distribución se establece camiones tipo C3S2 Y C2S1; para el transporte de leche en proceso se cuentan con dos camiones cisterna con capacidades de 1000 y 2000 litros, finalmente para los transportes de recolección de leche cruda en centros de acopio de hatos se establece el uso de carro-tanques cisterna con capacidad de 2000 y 3000 litros.

La formulación de programación lineal de la red de muestra contiene 6588 variables y restricciones 6721. Todos los experimentos computacionales se llevan a cabo en un portátil con Intel Core i5 de 1,70 GHz y 4 GB de RAM, el modelo se solucionó mediante el uso de CPLEX. Como base de la experimentación del modelo se tomó una cadena de suministro integrada vertical y horizontalmente en las plantas de proceso, una segunda solo integrada verticalmente, otra integrada únicamente entre plantas de proceso y finalmente una no integrada con envío directos entre cada eslabón.

Para esta primera fase del trabajo con el modelo de la cadena de suministro se experimentó mediante el uso de dos criterios de evaluación: minimizando los costos totales de gestión y maximizando los ingresos por producto entregado en los centros de consumo. Los resultados para estos escenarios se muestran en la tabla 9. El escenario base para la comparación de los resultados será la cadena de suministros no integrada. Como medidas de desempeño para el estudio se tienen en cuenta algunos de los seleccionados por expertos en rendimiento de la cadena estudiados en el capítulo anterior. Estos son los costos de distribución, costos de producción, costos de materiales, unidades entregadas en centros de consumo y el número de viajes usados en todo el horizonte de planeación en todos los nodos de la cadena de suministro.

Los resultados presentados en la tabla 10 muestran como la integración vertical mejoró el rendimiento de las medidas de desempeño seleccionadas tanto al evaluarse minimizando los costos como maximizando las utilidades. El costo de distribución aumenta en el caso

de la integración horizontal y vertical un 17.3% al ser evaluado minimizando los costos totales y un 20.3% maximizando las utilidades a pesar de una disminución en el número de viajes (4.9% y 9.3% respectivamente) esto debido a la mejor utilización de la capacidad de los medios de transporte. La sola integración entre plantas de proceso no mejora el rendimiento de los costos de distribución y materiales al evaluarse minimizando los costos, pero mejora la función de costos totales debido a un mejor uso de recursos al disminuir la importación de materias primas y capacidades de producción, la misma integración pero evaluada maximizando los ingresos por producto entregado en los centros de consumo si mejora el rendimiento general.

**Tabla 9. Resultados de experimentaciones**

TIPO CADENA	COSTO DISTR.	COSTO DE PROD.	COSTO DE MAT.	PRODUCTOS ENTREGADOS			VIAJES USADOS	INGRESOS VENTAS	FUNCIÓN OBJETIVO
				UHT	M/QUILLA	YOGUR			
INTEGRADA H-V	615176.448	389491.93	3.9918E+09	4586.329	3824.094	4444.218	1770	3.0738E+10	4.1567E+09
NO INTEGRADA	524248.058	402525.51	4.3403E+09	4586.329	3824.094	4444.218	1862	3.0738E+10	4.6092E+09
INTEGRADA H	646176.435	390229.54	4.4188E+09	4586.329	3824.094	4444.218	1911	4.0709E+10	3.6206E+09
INTEGRADA V	472986.979	400859.32	4.3395E+09	4586.329	3824.094	4444.218	1780	3.0738E+10	3.6218E+09
INTEGRADA H-V	652967.046	388952.35	3.9953E+09	4586.329	19029.977	4444.218	1761	9.0041E+10	6.9357E+10
NO INTEGRADA	542821.687	404983.93	4.34E+09	4586.329	19029.977	4444.218	1941	9.0041E+10	6.8968E+10
INTEGRADA H	427299.131	388849.93	4.3420E+09	4586.329	19029.977	4444.218	1788	9.0041E+10	6.9897E+10
INTEGRADA V	417789.065	394698.34	4.3421E+09	4586.329	19029.977	4444.218	1781	9.0041E+10	6.9899E+10

**Tabla 10. Resultados de comparaciones de escenarios con escenario base**

TIPO CADENA	COSTO DISTR.	COSTO DE PROD.	COSTO DE MAT.	PRODUCTOS ENTREGADOS			VIAJES USADOS	INGRESOS VENTAS	FUNCIÓN OBJETIVO
				UHT	M/QUILLA	YOGUR			
INTEGRADA H-V	1.173	0.968	0.920	1.000	1.000	1.000	0.951	1.000	0.902
NO INTEGRADA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
INTEGRADA H	1.233	0.969	1.018	1.000	1.000	1.000	1.026	1.324	0.786
INTEGRADA V	0.902	0.996	1.000	1.000	1.000	1.000	0.956	1.000	0.786
INTEGRADA H-V	1.203	0.960	0.920	1.000	1.000	1.000	0.907	1.000	1.006
NO INTEGRADA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
INTEGRADA H	0.787	0.960	1.000	1.000	1.000	1.000	0.921	1.000	1.013
INTEGRADA V	0.770	0.975	1.000	1.000	1.000	1.000	0.918	1.000	1.013

La integración vertical mejora en ambas evaluaciones el rendimiento de todas las medidas de desempeño, lo que puede llevar a pensar a que ésta induce al mejoramiento de algunas de las medidas de desempeño en la integración horizontal y vertical.

### 3.5 CONCLUSIONES

Los resultados preliminares del estudio ponen de relieve varias implicaciones para la toma de decisiones en la gerencia de la cadena de suministro. En primer lugar, los resultados muestran que la medición del rendimiento mediante diferentes prácticas de integración no son los mismos para todas medidas de desempeño seleccionadas, estas dependen del criterio de evaluación seleccionado y del tipo de práctica seleccionada. Este resultado refuerza el argumento común citado en la revisión de literatura del capítulo anterior el cual menciona que los socios de la cadena de suministro deben esforzarse por ajustar su gestión de la cadena relacionados con las iniciativas estratégicas. Es necesario que en la selección de la estrategia de gestión en la integración de la cadena de suministro ésta deba centrarse en las prácticas relacionadas con la estructura de la red de distribución.

Ninguno de los criterios de evaluación del modelo (minimización de costos o maximización de utilidades) muestra evidencia de ser mejor para la medición de mejora del rendimiento en todas las medidas de desempeño seleccionadas. La variable costo de distribución para ambos criterios de evaluación aumenta debido a la utilización de preparación de camiones para el traslado de productos en proceso entre plantas, la utilización de esa flota de transporte no implica un aumento en los viajes totales usados en el periodo de planeación debido a la mejor utilización de capacidades de producción, originando que los viajes hacia los centros de distribución y de consumo realicen una mejor utilización de capacidades de envío. Aunque los costos de distribución aumentan es claro que los costos totales disminuyen en una integración debido a la mejor utilización de recursos en plantas de producción, disminución de inventarios, utilización de capacidades de medios de transporte.

Si la toma de decisiones depende únicamente del criterio de decisión para la solución del modelo y del resultado de la función objetivo, la disminución de costos parece ser la mejor alternativa para mejorar el rendimiento del sistema. Los costos de gestión disminuyen en 9.8% en la integración horizontal - vertical y 21.4% tanto para la integración horizontal como para la vertical, contrastando con una mejora de las utilidades en 0.6% en la integración horizontal - vertical y 1.3% tanto para la integración horizontal como para la vertical. La decisión final dependerá si se desea únicamente mejorar esta variable o el

desempeño total de la cadena donde la maximización de utilidades demuestra una mejora en la utilización de las diferentes capacidades del sistema logístico.

La complejidad en las operaciones de una cadena integrada en todos los flujos hacia adelante y en paralelo (plantas de proceso) parece ser la causa que origina que ésta estrategia tanto en la minimización de costos (disminución de 9.8%) como en la maximización de utilidades (aumento de 0.6%) no represente una mejora significativa.

Así, el presente trabajo aporta una contribución significativa al cuerpo de conocimiento existente en la investigación de la gestión de la cadena de suministro específicamente al mejoramiento del rendimiento mediante prácticas de integración, analizando el efecto en las medidas de desempeño seleccionadas en el desarrollo de dichas prácticas en una cadena de productos lácteos mediante el uso de programación entera mixta. Los resultados parciales refuerzan las conclusiones planteadas en la revisión de literatura en la cual se concluye que las diferentes prácticas de integración por si solas no conducen a un mejor desempeño en el total de la cadena de suministro.

#### **4. MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN LAS CADENAS DE SUMINISTRO: ENFOQUE MEDIANTE ÍNDICE DE MALMQUIST**

En este trabajo se desarrolla un índice de productividad aplicable cuando las cadenas de suministro desean mejorar costos y utilidades. El índice se inspira en el índice de Malmquist ampliado a medida de la productividad. El índice desarrollado aquí se define en términos de costos totales de gestión de la cadena y viajes usados en el transporte de los diferentes productos. El cambio de la productividad se descompone en la eficiencia global y el cambio costo técnico. Por otra parte, el cambio de la eficiencia global se descompone en el cambio técnico y la eficiencia. Estas descomposiciones proporcionan una imagen más clara de las fuentes fundamentales del cambio de productividad. Las mediciones se realizaron mediante la experimentación de la cadena de suministro modelada en el capítulo anterior mediante escenarios no integrada e integrada bajo el supuesto de que las integraciones poseen rendimientos a escala constantes; para llevar a cabo los resultados de medición del índice de productividad se utilizó programación matemática no paramétrica.

##### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En una cadena de suministro integrada, dos o más empresas independientes trabajan juntas para planificar y ejecutar las mismas operaciones (Leitner et al. 2011), este trabajo en conjunto puede proporcionar importantes beneficios y ventajas a sus asociados. Las alianzas pueden ayudar a compartir los riesgos de la empresa, el acceso a los recursos, reducir los costos de transacción y mejorar la eficiencia y mejorar el rendimiento de utilidades, productividad y ventaja competitiva en el tiempo (Cao, Mei 2011).

Crecimiento de la productividad es una de las principales fuentes de desarrollo económico y una comprensión profunda de los factores que afectan la productividad es muy importante. En los últimos años, la medición y el análisis de los cambios de la productividad han disfrutado de un gran interés entre los investigadores que estudian el comportamiento y desempeño de la empresa (Flynn, Huo y Zhao 2010). El esfuerzo de

investigación se ha centrado en la indagación de las causas del cambio en la productividad y en su descomposición (Maniadakis, Thanassoulis 2004).

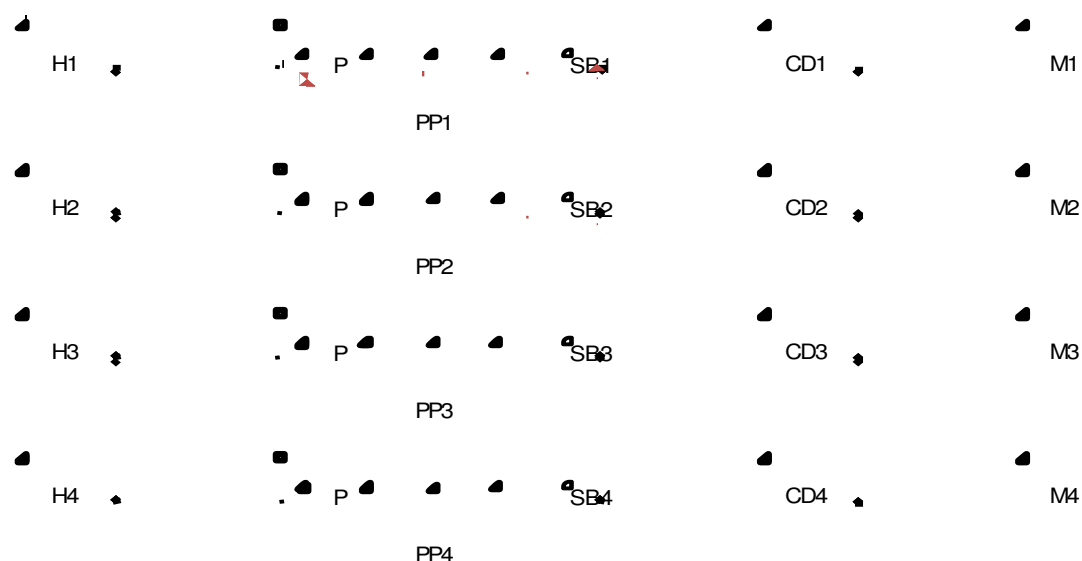
El objetivo de este estudio es analizar el cambio en la productividad en las cadenas de suministro basado en un modelo de programación entera mixta que proporciona un modelo determinista para cadenas no integradas (tal cual) e integradas tanto horizontal, vertical y en conjunto de estas dos modalidades. El estudio proporciona un conjunto de herramientas para la toma de decisiones que consiste en el análisis de diferentes resultados obtenidos al experimentar en el modelo desarrollado diferentes escenarios de las principales prácticas de las cadenas de suministro mediante programación entera mixta en combinación con programación no paramétrica para el análisis de las medidas de desempeño seleccionadas y estudio de eficiencia y productividad. La integración de las soluciones de mejora identificadas y los conceptos de colaboración en un modelo cohesivo puede proporcionar la futura arquitectura necesaria para traer nuevas eficiencias y ahorros de costos para la industria y mejorar la productividad (Jayaram, Tan 2010). Según el informe de Capgemini (2006), el impacto del nuevo diseño de la cadena de suministro al tener en cuenta conceptos de colaboración en integración, incluso teniendo en cuenta el uso del transporte y el almacenamiento de la tecnología actual, podría reducir los costos de transporte en más de un 30%, reducir los costos de manejo de inventario del 20%. En vista de que el estudio es necesario considerar la cuestión de cuál es el impacto de la integración de las cadenas de suministro en términos de productividad en este estudio se utilizó el apoyo de la teoría existente en el Índice de Malmquist para proponer que existen diferencias en las cadenas de suministro integradas o no integradas. Para este estudio se desarrollaron diferentes escenarios para obtener muestras de diferentes configuraciones de las cadenas de suministro integradas y no integradas bajo en enfoque de dos criterios de decisión: minimizar los costos de operación de la cadena y maximizar los ingresos por entrega de productos finales. Los resultados obtenidos fueron insumo para el cálculo de eficiencias mediante el uso de análisis envolvente de datos (DEA) y con los resultados obtenidos, el cálculo de la productividad utilizando Índice Malmquist.



## 4.2. METODOLOGÍA

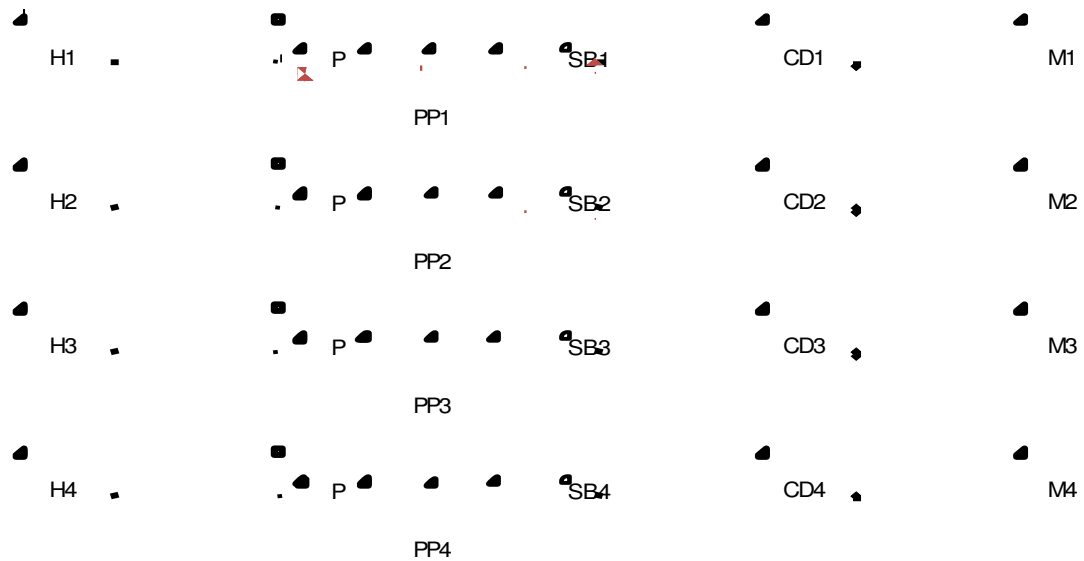
El análisis procede en tres fases. La primera fase consiste en formular el diseño adecuado de un modelo determinístico para la cadena de suministro. Para ello, el uso de la programación entera mixta se propone como una herramienta para generar los escenarios de diseño y en la identificación de las brechas de rendimiento mediante análisis post-óptimo. Para este fin, es necesario identificar y definir las medidas de rendimiento adecuados.

**Figura 5. Cadena de suministro con flujos de productos integrados horizontales y verticales**

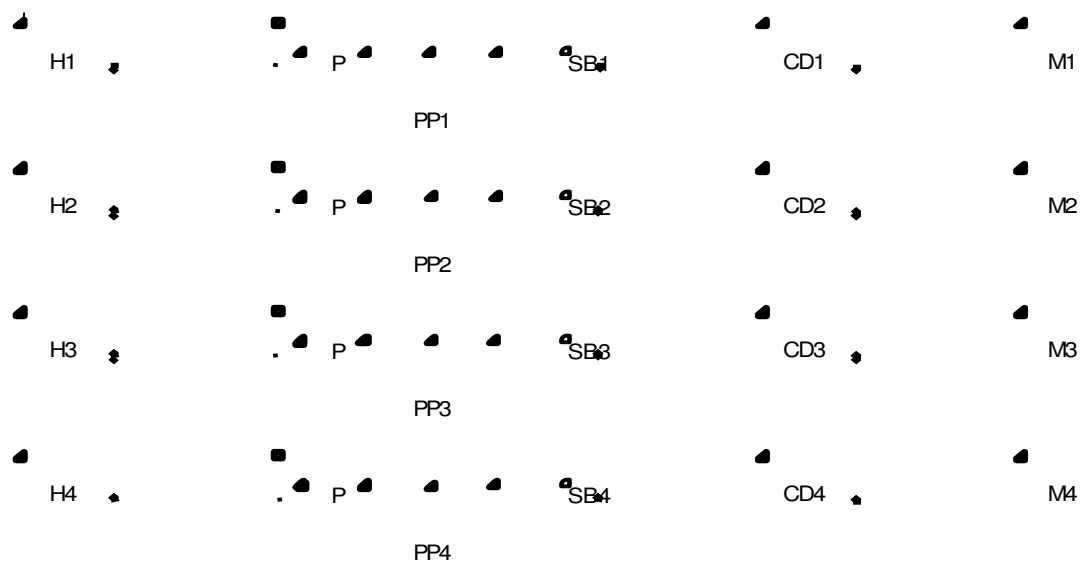


En las figuras 5, 6 y 7 muestran los diferentes diseños y configuraciones usadas en los diferentes escenarios planeados para el estudio. Los escenarios corresponden a la comparación de la cadena de abastecimiento modelada mediante programación entera mixta en diferentes integraciones y configuraciones. La tabla 11 muestra el resumen de estos escenarios, todos bajo el mismo conjunto de parámetros. La razón final para el uso de este conjunto de datos es garantizar que todos son esencialmente similares, esto se requiere cuando se usa una función de distancia basado en DEA.

**Figura 6. Cadena de suministro con flujos de productos integrados horizontales**



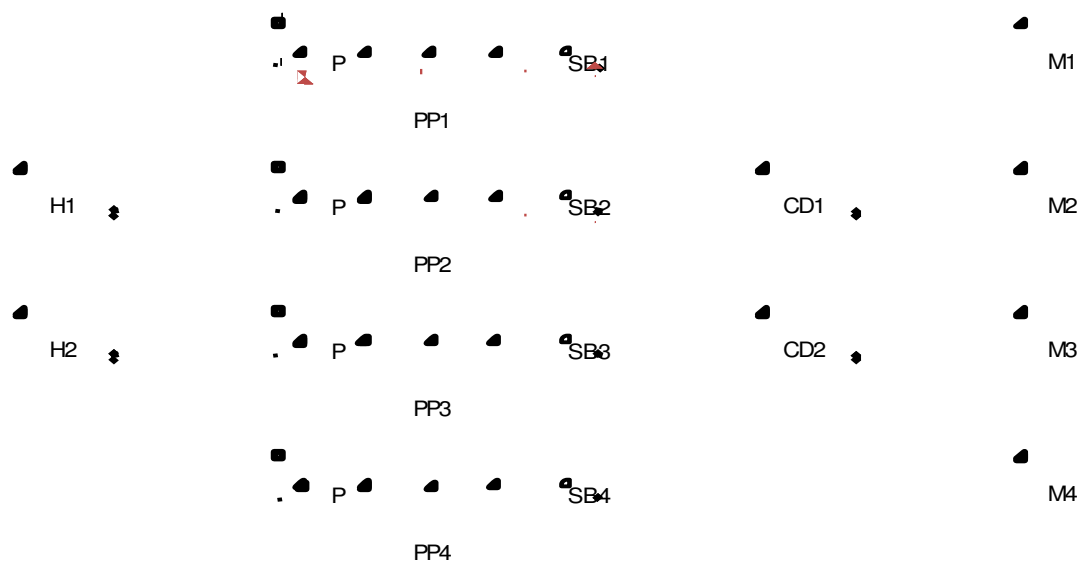
**Figura 7. Cadena de suministro con flujos de productos integrados verticales**



La segunda fase es la aplicación de un análisis de eficiencias mediante análisis envolvente de datos (DEA) de los resultados obtenidos mediante la experimentación del modelo de programación entera mixta. DEA es un modelo no paramétrico basado en programación lineal que mide la eficiencia de una muestra basada en la relación de

entradas a salidas, con dos objetivos básicos: minimizando entradas o salidas maximizar (Chen, Yan 2011). La frontera eficiente es un hiperplano (en el caso de más de dos variables) formada por las unidades de toma de decisiones (DMU), para este estudio, las DMU son diferentes configuraciones de cadena de suministro resultantes de cada experimentación del modelo.

**Figura 8. Cadena de suministro con flujos de productos integrados horizontales y verticales y mitad de centros de distribución y proveedores**



El tercer paso es el cálculo de los índices de Malmquist para cada uno de los DMU experimentadas. Un enfoque muy útil para la medición de la productividad en la DEA es el índice de productividad de Malmquist (MPI) (Wang, Lan 2011a). El MPI calcula el rendimiento relativo de una DMU en diferentes períodos de tiempo utilizando la tecnología de un período base, en este trabajo, estos períodos son las observaciones realizadas a las configuraciones de la cadena de suministro no integrado (t) e integrada (t + 1).

**Tabla 11 Escenarios para experimentaciones.**

TIPO DE CADENA	ENFOQUE	CONFIGURACIONES (DMU)
Integrada horizontal y vertical H-V	Costos	2 plantas-2 centros de distribución
Integrada horizontalmente H		4 plantas-4 centros de distribución
Integrada verticalmente V		6 plantas-6 centros de distribución
Integrada H-V (mitad de almacenes)		8 plantas-8 centros de distribución
No integrada N		12 plantas-12 centros de distribución
		16 plantas-16 centros de distribución

**4.2.1 Cálculo de eficiencias.** En primer lugar se utiliza DEA, que estima los límites en relación a los puntajes de eficiencia, teniendo en cuenta los recursos utilizados. DEA es ahora un método reconocido para medir la eficiencia de acuerdo con Saranga, Moser (2010) y Cook, et al. (2009). El modelo DEA - CCR, llamado así por ser desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), establece medidas radiales de eficiencia. La eficiencia técnica de cada unidad se define como la relación de la suma ponderada de las salidas (productos), y la suma ponderada de las entradas (inputs) y el modelo de transformación lineal es:

$$D_0^t(x_0^t, y_0^t) = \text{Minimizar } \theta \quad (53)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t \leq \theta x_{i0}^t, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^t \geq y_{r0}^t, \quad r = 1, 2, \dots, s,$$

$$\lambda_j \geq 0,$$

$$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1}) = \text{Minimizar } \theta \quad (54)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t \leq \theta x_{i0}^{t+1}, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^t \geq y_{r0}^{t+1}, \quad r = 1, 2, \dots, s,$$

$$\lambda_j \geq 0,$$

$$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1}) = \text{Minimizar } \theta \quad (55)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{t+1} \leq \theta x_{i0}^{t+1}, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^{t+1} \geq y_{r0}^{t+1}, \quad r = 1, 2, \dots, s,$$

$$\lambda_j \geq 0,$$

$$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t) = \text{Minimizar } \theta \quad (56)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{t+1} \leq \theta x_{i0}^t, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^{t+1} \geq y_{r0}^t, \quad r = 1, 2 \dots s,$$

$$\lambda_j \geq 0,$$

Donde,  $D_0^t(x_0^t, y_0^t)$  y  $D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$  mide las eficiencias optimistas de las  $DMU_0$  ( $0 \in [1, 2, \dots, N]$ ) en el periodo de tiempo  $t$  y  $t+1$  respectivamente,  $D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$  mide la eficiencia optimista en el periodo de tiempo  $t+1$  usando la tecnología de producción del periodo de tiempo  $t$ , llamado índice de crecimiento de  $DMU_0$ , y  $D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$  mide la eficiencia optimista de  $DMU_0$  en el periodo de tiempo  $t$  usando tecnología del periodo de tiempo  $t+1$ . Como vectores de entrada se toman del modelo de experimentación los costos totales de gestión, los viajes usados para el transporte de productos terminados. Los vectores de salida para el estudio son ingresos por ventas y productos totales entregados en mercados.

**4.2.2 Índice de Malmquist.** Basado en eficiencias optimistas, Maniadakis y Thanassoulis (2004) propuso el siguiente DEA con índice de productividad de Malmquist optimista:

$$MPI_0 = \left[ \frac{D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^t(x_0^t, y_0^t)} \cdot \frac{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)} \right]^{1/2} \quad (57)$$

El cual mide el cambio en la productividad de  $DMU_0$  de período de tiempo  $t$  a  $t+1$ . Un  $MPI_0 > 1$  indica el progreso de la productividad,  $MPI_0 = 1$  representa que la productividad no se ha modificado, y  $MPI_0 < 1$  indica disminución de la productividad. Wang, Lan (2011b) descompone el  $MPI_0$  en (5) en dos componentes:

$$MPI_0 = \frac{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^t(x_0^t, y_0^t)} \cdot \left[ \frac{D_0^t(x_0^t, y_0^t)}{D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)} \cdot \frac{D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})} \right]^{1/2} \quad (58)$$

El primer componente,

$$OEC_0 = \frac{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^t(x_0^t, y_0^t)} \quad (59)$$

Mide el cambio de eficiencia. Si  $OEC_0 > 1$  indica que la eficiencia de la  $DMU_0$  ha mejorado, cuando  $OEC_0 < 1$  indica que la eficiencia de la  $DMU_0$  ha disminuido. El segundo componente:

$$OTC_0 = \left[ \frac{D_0^t(x_0^t, y_0^t)}{D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)} \cdot \frac{D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})} \right]^{1/2} \quad (60)$$

mide el cambio técnico optimista de  $DMU_0$ , del período de tiempo  $t$  a  $t + 1$

**4.2.3 El índice de productividad de Malmquist: DEA pesimista.** Las eficiencias medidas desde el punto de vista pesimista se conocen como eficiencias pesimistas. La eficiencia pesimista de  $DMU_0$  relativa a las otras  $DMU_s$  puede ser medida por el modelo DEA pesimista siguiente.

$$D_0^t(x_0^t, y_0^t) = \text{Maximize } \varphi \quad (61)$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t \leq \varphi x_{i0}^t, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^t \geq y_{r0}^t, \quad r = 1, 2, \dots, s,$$

$$\lambda_j \geq 0,$$

$$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1}) = \text{Maximize } \varphi \quad (62)$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t \leq \varphi x_{i0}^{t+1}, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^t \geq y_{r0}^{t+1}, \quad r = 1, 2, \dots, s,$$

$$\lambda_j \geq 0,$$



$$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1}) = \text{Maximize } \varphi \quad (63)$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{t+1} \leq \varphi x_{i0}^{t+1}, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^{t+1} \geq y_{r0}^{t+1}, \quad r = 1, 2, \dots, s,$$

$$\lambda_j \geq 0,$$

$$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t) = \text{Maximize } \varphi \quad (64)$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{t+1} \leq \varphi x_{i0}^t, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^{t+1} \geq y_{r0}^t, \quad r = 1, 2, \dots, s,$$

$$\lambda_j \geq 0,$$

Donde,  $D_0^t(x_0^t, y_0^t)$  y  $D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$  mide las eficiencias pesimistas de las  $DMU_0$  ( $0 \in [1, 2, \dots, N]$ ) en el periodo de tiempo  $t$  y  $t+1$  respectivamente,  $D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$  mide la eficiencia pesimista en el periodo de tiempo  $t+1$  usando la tecnología de producción del periodo de tiempo  $t$ , y  $D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$  mide la eficiencia optimista de  $DMU_0$  en el periodo de tiempo  $t$  usando tecnología del periodo de tiempo  $t+1$ .

El cambio en la productividad de  $DMU_0$  del período de tiempo  $t$  a  $t+1$  se puede medir por el siguiente DEA pesimista basado en el índice de productividad de Malmquist:

$$MPI_0 = \frac{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^t(x_0^t, y_0^t)} \cdot \left[ \frac{D_0^t(x_0^t, y_0^t)}{D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)} \cdot \frac{D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})} \right]^{1/2} \quad (65)$$

$MPI_0$  (pesimista)  $> 1$  indica el progreso de la productividad,  $MPI_0$  (pesimista)  $= 1$  implica que la productividad se mantiene sin cambios, y  $MPI_0$  (pesimista)  $< 1$  representa el descenso de la productividad. El primer componente:

$$PEC_0 = \frac{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^t(x_0^t, y_0^t)} \quad (14)$$

mide el cambio en la eficacia pesimista (PEC) de  $DMU_0$ . Si  $PEC > 1$ , entonces la eficiencia pesimista de  $DMU_0$  mejoró del período de tiempo  $t$  a  $t+1$ ; si  $PEC < 1$ , entonces la eficiencia pesimista de  $DMU_0$  ha disminuido. El segundo componente:

$$PTC_0 = \left[ \frac{D_0^t(x_0^t, y_0^t)}{D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)} \cdot \frac{D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})} \right]^{1/2} \quad (66)$$

mide el cambio técnico pesimista (PEC) de la  $DMU_0$ . Si  $PTC_0 > 1$ , entonces el cambio técnico pesimista de  $DMU_0$  mejoró del período de tiempo  $t$  a  $t+1$ ; si  $PTC_0 < 1$ , entonces la eficiencia pesimista de  $DMU_0$  ha disminuido. El segundo componente, mide el cambio técnico pesimista (PTC) de la  $DMU_0$  del período de tiempo  $t$  a  $t+1$ . Las conclusiones será iguales ya que tanto los modelos DEA optimista y la pesimista dan una puntuación alta eficacia para una DMU mejor.

**4.2.4 Agregación de los índices de productividad de Malmquist.** Cuando el MPI se mide a partir puntos de vista de DEA diferentes, no hay garantía de que una conclusión evaluación constante se puede lograr. En términos generales, los valores medidos del índice de productividad de Malmquist partir de puntos de vista diferentes de DEA no son los mismos, incluso significativamente diferentes o incompatibles fuertemente. Por lo tanto, existe una clara necesidad de agregarlos en un valor integrado MPI para cada DMU para elaborar una conclusión global. Similar a la media geométrica en la formulación (5), se pueden combinar los valores medidos a partir de MPI tanto el optimista y los puntos de la DEA pesimistas de vista de una manera media geométrica. Esto es:

$$MPI_0(DFDEA) = [MPI_0(OPT) * MPI_0(PES)]^{1/2} \quad (67)$$

que mide el cambio en la productividad media de  $DMU_0$  desde y los puntos de vista optimista y pesimistas simultáneamente y puede ser aún más descompuesta en:

$$MPI_0(DFDEA) = [(OEC_0 * OTC_0) * (PEC_0 * PTC_0)]^{1/2} \quad (68)$$

$$MPI_0(DFDEA) = [(OEC_0 * PEC_0)]^{1/2} * [(OTC_0 * PTC_0)]^{1/2} \quad (69)$$

$$MPI_0(DFDEA) = EC_0 * TC_0 \quad (70)$$

donde  $EC_0 = [(OEC_0 * PEC_0)]^{1/2}$  y  $TC_0 = [(OTC_0 * PTC_0)]^{1/2}$  mide respectivamente, el cambio medio de eficiencia de  $DMU_0$  y el cambio técnico sobre los periodos de tiempo  $t$  y  $t+1$ . Dado que el valor MPI definido por el lado izquierdo de (17) es la integración de los valores medidos a partir de los puntos de vista MPI tanto de DEA optimista y pesimista, se refiere a ella como las fronteras dobles DEA basado en el valor MPI el valor DFDEA basada en MPI por sus siglas, el cual es más amplio y más realista que el tradicional valor de DEA optimista basado en MPI. Además puede mejor y con más precisión reflejar los cambios en la productividad de la DMU largo del tiempo.

### 4.3. RESULTADOS DE EXPERIMENTACIONES

Ahora se generan una serie de casos para realizar análisis de escenarios en los que se cambian parámetros del problema para ver el efecto de las medidas de desempeño. Estos son los costos de distribución, costos de producción, costos de materiales, unidades entregadas en centros de consumo y el número de viajes usados en todo el horizonte de planeación en todos los nodos de la cadena de suministro.

#### 4.3.1 Cadena de suministros no integrada.

El primer escenario a considerar para cada una de las DMU a considerar en el estudio es la no integración de los nodos de la cadena de suministro. En la tabla 12 se muestran los resultados.

**Tabla 12. Resultados para cadenas no integradas**

DMU	CDIS	CPROD	CMAT	CTOTAL	PRODUCTOS ENTREGADOS			ENTREG	VJS	INGRESOS VENTAS
					UHT	M/QLLA	YOGUR			
2PL	275834.367	105882.128	1.5895E+09	1.7701E+09	1356.52	1240.247	1291.924	3888.691	621	1.2153E+10
4PL	524931.082	402734.218	4.3400E+09	4.6092E+09	4586.329	3824.094	4444.218	12854.64	1871	4.6092E+09
6PL	492110.984	192528.470	1.6926E+09	1.6299E+10	3488.194	1357.919	1614.905	6461.018	1123	1.9714E+10
8PL	393056.862	150124.000	1.0562E+09	2.1029E+10	2756.965	1083.299	1503.799	5344.063	1042	1.6287E+10
12PL	1657149.000	77998.836	1.7854E+08	3.0487E+10	1485.712	733.862	1033.539	3253.113	1029	1.0018E+10
16PL	2289192.67	106914.893	2.3616E+08	4.0570E+10	1889.438	1154.341	1515.000	4558.779	1345	1.4199E+10

Importante resaltar en todos los escenarios es el comportamiento de la DMU para cuatro plantas el cual a pesar de ser menos robusto que otras configuraciones resulta obtener el mayor número de viajes dado el mayor número de productos finales a entregar.

#### 4.3.2 Cadena de suministros integradas horizontalmente.

Para este escenario se integran los flujos de las plantas de proceso. Los resultados se reflejan en la tabla 13.



**Tabla 13. Resultados para cadenas integradas horizontalmente**

DMU	CDIS	CPROD	CMAT	CTOTAL	PRODUCTOS ENTREGADOS			ENTREG	VJS	INGRESO VENTAS
					UHT	M/QLLA	YOGUR			
2PL	375116.6	132289.5	5.2017E+08	8.5908E+08	1356.520	1240.247	1291.924	3888.691	267	1.2157E+10
4PL	652591.7	389582.2	4.3831E+09	3.5943E+09	4586.329	3824.094	4444.218	12854.641	1920	4.0709E+10
6PL	493004.7	190161.8	1.6764E+09	1.6165E+10	3488.194	1325.871	1614.905	6428.970	1093	1.9590E+10
8PL	398964.1	144369.9	9.8473E+08	2.0906E+10	2756.965	1100.706	1503.799	5361.470	1002	1.6354E+10
12PL	1743140	77017.88	1.7244E+08	3.0321E+10	1485.712	728.609	1033.539	3247.860	927	9.9980E+09
16PL	2299922	106119.4	2.1712E+08	4.0328E+10	1889.438	1154.256	1512.787	4556.481	1191	1.4189E+10

**4.3.3 Cadena de suministros integradas verticalmente.**

Para este escenario se integran los flujos de proveedores y envíos de productos terminados a centros de distribución. Los resultados se reflejan en la tabla 14.

**4.3.4 Cadena de suministros integradas horizontal-verticalmente.** Para este escenario se integran los flujos de las plantas de proceso, los flujos de proveedores y envíos de productos terminados a centros de distribución. Los resultados se reflejan en la tabla 15.

**Tabla 14. Cadena de suministros integradas verticalmente**

DMU	CDIS	CPROD	CMAT	CTOTAL	PRODUCTOS ENTREGADOS			ENTREG	VJS	INGRESO VENTAS
					UHT	M/QLLA	YOGUR			
2PL	259237.699	104842.72	1.5887E+09	1.7549E+09	1356.520	1240.247	1291.924	3888.691	616	1.2153E+10
4PL	513317.48	400596.66	4.3399E+09	4.3399E+09	4586.329	3824.094	4444.218	12854.641	1809	3.0738E+10
6PL	480812.817	193274.43	1.6952E+09	1.6248E+10	3488.194	1385.944	1614.905	6489.043	1074	1.9821E+10
8PL	387738.438	148783.55	1.0306E+09	2.1048E+10	2756.965	1111.547	1503.799	5372.311	989	1.6396E+10
12PL	1630940.04	78965.77	1.9140E+08	3.0518E+10	1485.712	734.450	1033.539	3253.701	979	1.0021E+10
16PL	1981952.66	102275.34	2.0090E+08	4.1020E+10	1889.438	1153.798	1511.551	4554.787	1583	1.4184E+10

**Tabla 15. Cadena de suministros integradas horizontal-verticalmente**

DMU	CDIS	CPROD	CMAT	CTOTAL	PRODUCTOS ENTREGADOS			ENTREG	VJS	INGRESOS VENTAS
					UHT	M/QLLA	YOGUR			
2PL	374690.267	130645.41	5.2016E+08	8.5907E+08	1356.520	1240.247	1291.924	3888.691	267	1.2157E+10
4PL	652967.046	393987.05	1.4280E+09	2.5570E+09	4586.329	3824.094	4444.218	12854.641	1934	3.0738E+10
6PL	251736.676	157684.33	5.5493E+08	1.1472E+10	3418.430	1334.817	1582.607	6335.854	1051	1.9336E+10
8PL	1741577.02	133479.89	8.6909E+08	1.6821E+10	2756.965	863.224	1503.799	5123.988	1019	1.5435E+10
12PL	1393413.05	71988.014	8.7079E+07	2.2240E+10	1519.560	824.150	1114.824	3458.534	847	1.0702E+10
16PL	1840156.02	109397.1	1.9822E+08	3.0368E+10	1889.438	1148.779	1511.551	4549.768	1140	1.4164E+10

#### 4.3.5 Cadena de suministros integradas horizontal-verticalmente 2.

Para este escenario se integran los flujos de las plantas de proceso, los flujos de proveedores y envíos de productos terminados a centros de distribución, pero el número de proveedores y centros de distribución son la mitad del número de plantas existentes. Los resultados se reflejan en la tabla 16.

**Tabla 16. Cadena de suministros integradas horizontal-verticalmente 2.**

DMU	CDIS	CPROD	CMAT	CTOTAL	PRODUCTOS ENTREGADOS			ENTREG	VJS	INGRESO VENTAS
					UHT	M/QLLA	YOGUR			
2PL	374480.69	132080.07	5.2015E+08	8.5911E+08	1356.520	1240.247	1291.924	3888.691	267	8.5911E+08
4PL	1.3375E+09	394517.67	1.4281E+09	2.5576E+09	4586.329	3824.094	4444.218	12854.641	1932	3.0738E+10
6PL	2.6913E+05	156072.67	3.6188E+08	1.2360E+10	3418.430	1350.095	1582.607	6351.132	1049	1.9396E+10
8PL	1.7366E+06	133458.13	8.6909E+08	1.6829E+10	2756.965	865.234	1503.799	5125.998	1023	1.5443E+10
12PL	1.6906E+06	85167.715	4.4242E+08	2.4554E+10	1485.712	717.638	1033.539	3236.889	928	9.9554E+09
16PL	2.5105E+06	108628.73	1.9250E+08	3.2254E+10	1889.438	1148.779	1511.551	4549.768	1213	1.4164E+10

#### 4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para este análisis se realiza la comparación de las diferentes integraciones a estudiar con el escenario de la cadena no integrada. De esta manera la cadena no integrada será aquella que en el estudio se encuentre en el periodo de tiempo  $t$  y las integradas estarán en el período de tiempo  $t + 1$  para efectos de los siguientes análisis.

#### 4.4.1 Análisis de rendimiento.

Este análisis será el resultado de la comparación directa entre los resultados del periodo de tiempo  $t$  versus el periodo de tiempo  $t + 1$ .

**4.4.1.1 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente.** Los resultados para análisis se muestran la tabla 17. El escenario base para la comparación de los resultados será la cadena de suministros no integrada.

**Tabla 17. Rendimiento en medias de desempeño cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente**

DMU	CDIS	CPROD	CMAT	CTOTAL	PRODUCTOS ENTREGADOS			ENTREG	VJS	INGRESO VENTAS
					UHT	M/QLLA	YOGUR			
2PL	1.360	1.249	0.327	0.485	1.000	1.000	1.000	1.000	0.430	1.000
4PL	1.243	0.967	1.010	0.780	1.000	1.000	1.000	1.000	1.026	8.832
6PL	1.002	0.988	0.990	0.992	1.000	0.976	1.000	0.995	0.973	0.994
8PL	1.015	0.962	0.932	0.994	1.000	1.016	1.000	1.003	0.962	1.004
12PL	1.052	0.987	0.966	0.995	1.000	0.993	1.000	0.998	0.901	0.998
16PL	1.005	0.993	0.919	0.994	1.000	1.000	0.999	0.999	0.886	0.999

Estos resultados muestran que en todas las DMU los costos de distribución aumentan, para el caso de dos plantas este aumento es del 36%, siendo el mayor registrado, caso contrario ocurre por la DMU de seis plantas cuyo incremento en este costo es del 0.2%. el costo de materiales sufre una drástica caída de 67.3% en la DMU de dos plantas, tal como lo indican los resultados en las entregas de productos estas se mantienen estables en cada una de las DMU, lo que se considera para este caso es un incremento en el uso de las capacidades de producción reflejadas en el incremento de los costos totales de producción en 24.9 %. El resultado más significativo en este análisis es representado en el uso de cuatro plantas para el registro de ingresos por ventas las cuales se incrementan en un 782%, este resultado se puede interpretar debido a que en todos los análisis realizados en las diferentes configuraciones y experimentaciones, esta es la única en la cual se realizan exportaciones de productos terminados, que no se incluyen en el cálculo de entregas de productos.



**4.4.1.2 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente.** Los resultados para análisis se muestran la tabla 18.

**Tabla 18. Rendimiento en medias de desempeño cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente**

DMU	CDIS	CPROD	CMAT	CTOTAL	PRODUCTOS ENTREGADOS			ENTREG	VJS	INGRESO VENTAS
					UHT	M/QLLA	YOGUR			
2PL	0.940	0.990	0.999	0.991	1.000	1.000	1.000	1.000	0.992	1.000
4PL	0.978	0.995	1.000	0.942	1.000	1.000	1.000	1.000	0.967	6.669
6PL	0.977	1.004	1.002	0.997	1.000	1.021	1.000	1.004	0.956	1.005
8PL	0.986	0.991	0.976	1.001	1.000	1.026	1.000	1.005	0.949	1.007
12PL	0.984	1.012	1.072	1.001	1.000	1.001	1.000	1.000	0.951	1.000
16PL	0.866	0.957	0.851	1.011	1.000	1.000	0.998	0.999	1.177	0.999

Para este caso, contrario al anterior, los costos de distribución en cada una de las DMU analizadas es menor en las cadenas integradas verticalmente, para el caso de 16 plantas de proceso esa disminución representa el 13.4% respecto a la cena no integrada, la menor disminución es en la DMU de 8 plantas pues la mejora tan sólo alcanza el 1.4%; en los costos de producción el incremento solo ocurre en las DMU de 6 y 12 plantas pero este es poco significativo: 0.4% y 1.2% respectivamente, debido a un incremento de algunas entregas. El número de viajes realizados por los diferentes medios de transporte sólo se incrementa en la DMU de 16 plantas con un 17.7%, el mejor resultado se obtiene en la DMU de 8 plantas cuya mejora alcanzó 4.9%. Nuevamente la mayor significancia en los resultados se alcanza con la DMU de 4 plantas en el ingreso en ventas con un incremento de 766% logrado por el efecto explicado en el apartado anterior.

**4.4.1.3 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente.** Este caso resulta más complejo de evaluar debido a que en algunas DMU el rendimiento está en los promedios anteriores pero se resalta el caso de la DMU DE 8 plantas debido a un incremento en el costo de distribución. El uso de transporte en el envío de productos en proceso mejora significativamente el uso de materiales, tanto de materias primas, pues no hay inventarios, como de insumos debido a un uso más racional de las diferentes etapas de proceso para la elaboración de productos, reflejado también en el costo de producción. El comportamiento de la DMU de 6 plantas pese a mejorar en aspectos de costos no posee un buen rendimiento en la entrega de productos ya que el

total de estas desciende a 4.9%. en el caso de la DMU de 8 plantas pese a mejorar en el rendimiento de las otras medidas de desempeño de costos, sus entregas en el producto mantequilla se vieron afectadas por la disminución en los viajes de entrega. En la tabla 19 se relacionan estos resultados.

**Tabla 19. Rendimiento en medias de desempeño cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente**

DMU	CDIS	CPROD	CMAT	CTOTAL	PRODUCTOS ENTREGADOS			ENTREG	VJS	INGRESO VENTAS
					UHT	M/QLLA	YOGUR			
2PL	1.358	1.234	0.327	0.485	1.000	1.000	1.000	1.000	0.430	1.000
4PL	1.244	0.978	0.329	0.555	1.000	1.000	1.000	1.000	1.034	6.669
6PL	0.512	0.819	0.328	0.704	0.980	0.983	0.980	0.981	0.936	0.981
8PL	4.431	0.889	0.823	0.800	1.000	0.797	1.000	0.959	0.978	0.948
12PL	0.841	0.923	0.488	0.729	1.023	1.123	1.079	1.063	0.823	1.068
16PL	0.804	1.023	0.839	0.749	1.000	0.995	0.998	0.998	0.848	0.998

**4.4.1.4 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente 2.** Con una reducción del 50% en los proveedores y centros de distribución respecto al número de plantas de proceso se demuestra que el costo de distribución se incrementa debido a la mejor utilización de las capacidades de los medios de transporte, es importante notar como hay una disminución en las ventas en todas las DMU simuladas, excepto en la DMU de 4 plantas, en la cual el ingreso por ventas se mantiene pese a la disminución en el uso de insumos por mejor aprovechamiento de las capacidades en cada una de las unidades de producción en cada una de las plantas, esto es debido al flujo de material en proceso que existe entre las plantas lo cual hace que el costo por el uso del recurso transporte se vea incrementado en un 154%, pero el flujo hacia adelante de los productos elaborados en las plantas resulta más ágil hasta la entrega en los centros de distribución, por una mejora en la utilización de las capacidades tanto de producción , como de transporte y almacenamiento. En la tabla 20 se evidencian estos resultados.

**Tabla 20. Rendimiento en medias de desempeño cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-verticalmente**

DMU	CDIS	CPROD	CMAT	CTOTAL	PRODUCTOS ENTREGADOS			ENTREG	VJS	INGRESO VENTAS
					UHT	M/QLLA	YOGUR			
2PL	1.358	1.247	0.327	0.485	1.000	1.000	1.000	1.000	0.430	0.071
4PL	2.548	0.980	0.329	0.555	1.000	1.000	1.000	1.000	1.033	6.669
6PL	4.047	0.811	0.214	0.758	0.980	0.994	0.980	0.983	0.934	0.984
8PL	4.418	0.889	0.823	0.800	1.000	0.799	1.000	0.959	0.982	0.948
12PL	1.020	1.092	2.478	0.805	1.000	0.978	1.000	0.995	0.902	0.994
16PL	1.097	1.016	0.815	0.795	1.000	0.995	0.998	0.998	0.902	0.998

#### 4.5. CÁLCULO DE EFICIENCIAS PESIMISTAS

A continuación se mostrarán las ineficiencias del sistema mediante el uso de DEA output orientado. Cabe destacar que la posición de la cadena de suministros no integrada sirve apenas para calcular la ineficiencia y mejorar la ordenación, con el uso del modelo de dos fronteras y la agregación de la ineficiencia con relación a la frontera invertida. Los input para este cálculo son entregas de productos (ENTRG) e Ingresos por Ventas; los outputs son los costos totales de gestión (CTOTAL), viajes usados (VJS). Con este cálculo se desea determinar la máxima utilización de recursos entregando lo mínimo posible.

##### 4.5.1 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente

El cálculo de eficiencias para esta comparación se presenta en la tabla 21. Los resultados en todas las diferentes comparaciones muestran como la DMU de cuatro plantas es la más eficiente en la experimentación debido a los resultados presentados en el cálculo de rendimiento.

**Tabla 21. Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente**

	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
DMU	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR
2PL	1.0000	1.0000	2.3266	2.3266
4PL	1.0000	14.4785	32.361	32.3612
6PL	0.9166	0.4039	0.9370	0.9370
8PL	0.8170	0.3674	0.8524	0.8524
12PL	0.5041	0.2406	0.5595	0.5595
16PL	0.5411	0.2627	0.6107	0.6107

#### 4.5.2 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente

El cálculo de eficiencias para esta comparación se presenta en la tabla 22. Los resultados en todas las diferentes comparaciones muestran como la DMU de cuatro plantas es la más eficiente para el cálculo de eficiencias en el momento  $t$  y  $t + 1$ , debido al rendimiento en la variable de ingresos. Para los casos  $D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$ , la eficiencia en el periodo de tiempo  $t+1$  usando la tecnología de producción del periodo de tiempo  $t$  y  $D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$ , la eficiencia en el periodo de tiempo  $t$  usando tecnología del periodo de tiempo  $t+1$  es mayor para el caso de la DMU de dos plantas debido a un mejor rendimiento en algunos de las medidas de desempeño como costo total y viajes.

**Tabla 22. Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente**

	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
DMU	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR
2PL	1.0000	1.0900	9.7869	9.7870
4PL	1.0000	7.4165	1.2723	1.2723
6PL	0.9166	1.0000	0.9627	0.9627
8PL	0.8170	0.8991	0.8654	0.8654
12PL	0.5041	0.5546	0.5300	0.5300
16PL	0.5411	0.4855	0.4593	0.4593

#### 4.5.3 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical

El cálculo de eficiencias para esta comparación se presenta en la tabla 23. Los resultados en todas las diferentes comparaciones muestran como la DMU de cuatro plantas es la más eficiente en la experimentación debido a los resultados presentados en el cálculo de rendimiento, pero con un incremento de la eficiencia en la DMU de dos plantas.

**Tabla 23. Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal -vertical**

	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
DMU	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR
2PL	1.0000	8.3960	2.3266	4.0734
4PL	1.0000	9.1026	33.468	5.0497
6PL	0.9166	1.0000	0.9604	0.9544
8PL	0.8170	0.8341	0.8001	0.8507
12PL	0.5041	0.6868	0.6514	0.5292
16PL	0.5411	0.6753	0.6371	0.5738

#### 4.5.4 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución

El cálculo de eficiencias para esta comparación se presenta en la tabla 24. Los resultados en todas las diferentes comparaciones muestran como la DMU de cuatro plantas es la más eficiente en la experimentación debido a los resultados presentados en el cálculo de rendimiento, pero con un incremento de la eficiencia en la DMU de dos plantas.

**Tabla 24. Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal –vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución**

	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
DMU	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR
2PL	1.0000	1.0000	2.1199	2.1199
4PL	1.0000	1.1104	33.4606	33.4606
6PL	0.9166	0.4157	0.9647	0.9647
8PL	0.8170	0.3440	0.7973	0.7973
12PL	0.5041	0.2395	0.5561	0.5561
16PL	0.5411	1.0000	0.5988	0.5988

De esta forma se muestra como la mejor alternativa desde el punto de vista de DEA pesimista para la cadena de suministro es la de cuatro plantas dadas las condiciones paramétricas del modelo experimentado. La mejor eficiencia para estas experimentaciones se obtienen en la cadena de suministro integrada horizontalmente, el uso de los recursos financieros de costos y utilización de capacidades de transporte se ven reflejadas en esta estrategia. Sin embargo es necesario revisar estas estrategias desde el punto de vista de DEA optimista para tener una mejor inferencia en el sistema desde la óptica de un análisis de doble frontera.

#### 4.6 CÁLCULO DE EFICIENCIAS OPTIMISTAS

A continuación se evalúan el cálculo de eficiencias para cada una de las diferentes experimentaciones a fin de determinar la mayor eficiencia entre las diferentes DMU planteadas para la presente investigación. Este cálculo se realiza mediante DEA input orientado mediante el modelo CCR. Los input para este cálculo son los costos totales de gestión (CTOTAL), viajes usados (VJS); las salidas son entregas de productos (ENTRG) e Ingresos por Ventas. El cálculo de esta eficiencia desea obtener el mínimo uso de recursos para obtener el máximo de entregas e ingresos.

#### 4.6.1 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente

El cálculo de eficiencias para esta comparación se presenta en la tabla 25. Los resultados en todas las diferentes comparaciones muestran como la DMU de dos plantas es la más eficiente en la experimentación. Para la configuración con cuatro plantas resulta con una pérdida de eficiencia en el caso de del periodo de tiempo  $t + 1$  o integrada respecto a su cálculo de forma pesimista, lo cual significa que es más atractiva desde el mismo punto de vista de las entregas, dado el valor de las mismas calculadas en el numeral 4.4

**Tabla 25. Eficiencias optimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente**

	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
DMU	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR
2PL	1.0000	1.0000	2.3266	2.3266
4PL	1.0000	0.8004	2.159	2.1595
6PL	0.9166	0.4039	0.9604	0.9604
8PL	0.8170	0.3674	0.8001	0.8001
12PL	0.5041	0.2406	0.6514	0.6514
16PL	0.5411	0.2627	0.6371	0.6371

#### 4.6.2 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente

Como se puede observar en la tabla 26 para este tipo de integración en cualquier periodo de tiempo la eficiencia es mejor para la configuración con cuatro plantas. Estas eficiencias son el resultado del uso racional de recursos financieros y capacidades de transporte.

#### 4.6.3 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical

El cálculo de eficiencias para esta comparación se presenta en la tabla 27. Los resultados en todas las diferentes comparaciones muestran como la DMU de dos plantas es la más eficiente únicamente en para el cálculo de eficiencias en  $D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$ .

**Tabla 26. Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente**

	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
DMU	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR
2PL	1.0000	1.0000	1.0087	1.0087
4PL	1.0000	1.0000	1.2723	1.2723
6PL	0.9166	0.9468	0.9627	0.9627
8PL	0.8170	0.8509	0.8654	0.8654
12PL	0.5041	0.5228	0.5300	0.5300
16PL	0.5411	0.4550	0.4593	0.4593

**Tabla 27. Eficiencias optimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical**

	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
DMU	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR
2PL	1.0000	1.0000	1.0000	2.3266
4PL	1.0000	1.0000	1.0000	2.1595
6PL	0.9166	0.4139	0.9166	0.9604
8PL	0.8170	0.3453	0.8170	0.8001
12PL	0.5041	0.2804	0.5041	0.6514
16PL	0.5411	0.2740	0.5411	0.6371

#### 4.6.4 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución

El cálculo de eficiencias para esta comparación se presenta en la tabla 28. Los resultados en todas las diferentes comparaciones muestran como la DMU de cuatro plantas es la más eficiente tan solo en el cálculo de  $D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$ . Para este escenario la DMU de seis plantas mejora su eficiencia respecto a las DMU 2 y 4 plantas siendo en los cálculos  $D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$  y  $D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$  eficiente, esto debido a un mejor aprovechamiento de los recursos financieros para la gestión y el uso de los medios de transporte.



**Tabla 28. Eficiencias pesimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal–vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución**

	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR	input CRS/CCR
2PL	1.0000	1.0000	2.1199	1.0000
4PL	1.0000	1.0000	2.1590	1.0000
6PL	0.9166	1.0000	0.9647	1.0000
8PL	0.8170	0.8206	0.7973	0.8206
12PL	0.5041	0.5802	0.5561	0.5802
16PL	0.5411	0.6315	0.5988	0.6315

#### 4.7 INDICE DE EFICIENCIA AGREGADO

A pesar de que los modelos DEA tienen la ventaja de hacer posible ordenaciones, según la eficiencia obtenida por el modelo sin depender de las opiniones de los decidores, ellos son extremadamente benevolentes con las unidades evaluadas. Éstas pueden ser eficientes al considerar apenas algunas de las variables, a saber, aquellas que les son más favorables. Esa característica de benevolencia de los modelos DEA hace que ocurran empates para las unidades 100% eficientes, lo que ocasiona una baja discriminación entre las DMU.

En esta sección se propone utilizar la media geométrica de la eficiencia según la óptica input orientada (lo que caracteriza una conexión eficiente según el punto de vista de costos y viajes) y de la eficiencia según la óptica output (lo que caracteriza una conexión eficiente según el punto de vista de las entregas y ventas).

Cada una de las ópticas mencionadas construye una frontera DEA CCR, mutuamente invertidas. La media geométrica mencionada y mostrada en (20)

$$E_a = [E_{optimista} * E_{pesimista}]^{\frac{1}{2}} \quad (71)$$

El uso de las dos fronteras también permite que se evite otro problema de DEA que tiende a ignorar algunas de las variables de la evaluación. Por otro lado, no son necesarias evaluaciones subjetivas de pesos o importancia de criterios de evaluación (inputs y outputs) que es una forma de conseguir el aumento de discriminación y la consideración de todas las variables relevantes. Para obtener un buen índice de eficiencia, una DMU debe mostrar buen desempeño en las variables que le son favorables y no debe mostrar un mal desempeño en las variables que le son desfavorables.

Así el índice de eficiencia se calcula para cada una de las experimentaciones realizadas.

#### 4.7.1 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente

Los resultados de eficiencia agregada para las mediciones entre las cadenas integradas horizontalmente y no integradas se muestran en la tabla 29. Estos resultados son debido al cálculo de eficiencias pesimistas lo cual significa que la configuración de cuatro plantas resulta ser pesimista ineficiente. Estos valores de eficiencia resultan positivos para esta configuración en todos los posibles cálculos de comparación.

**Tabla 29. Eficiencias agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente**

DMU	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
2PL	1.0000	1.0000	2.3266	2.3266
4PL	1.0000	3.4042	8.3587	8.3597
6PL	0.9166	0.4039	0.9486	0.9486
8PL	0.8170	0.3674	0.8258	0.8258
12PL	0.5041	0.2406	0.6037	0.6037
16PL	0.5411	0.2627	0.6238	0.6238

#### 4.7.2 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente

Para este análisis, la configuración de 4 plantas resulta obtener los mejores índices de eficiencia en las evaluaciones de los periodos  $t$  y  $t + 1$  o no integrada e integrada. Los resultados del índice de crecimiento favorecen a la DMU de dos plantas, por lo cual se hace necesario verificar estos resultados con el cálculo de productividad de Malmquist a fin de verificar los índices de cambio tecnológico en estas dos DMU. Los resultados se observan en la tabla 30.

**Tabla 30. Eficiencias agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente**

DMU	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
2PL	1.0000	1.0440	3.1420	3.1420
4PL	1.0000	2.7233	1.2723	1.2723
6PL	0.9166	0.9730	0.9627	0.9627
8PL	0.8170	0.8747	0.8654	0.8654
12PL	0.5041	0.5385	0.5300	0.5300
16PL	0.5411	0.4700	0.4593	0.4593

#### 4.7.3 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical

En estos resultados se evidencia como la integración de 4 plantas resulta con los mejores índices. Estos resultados son debido al cálculo de eficiencias pesimistas lo cual significa que la configuración de cuatro plantas resulta ser pesimista ineficiente. Estos valores de eficiencia resultan positivos para esta configuración en todos los posibles cálculos de comparación.

**Tabla 31. Eficiencias agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal -vertical**

DMU	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
2PL	1.0000	2.8976	1.5253	3.0785
4PL	1.0000	3.0171	5.7852	3.3022
6PL	0.9166	0.6434	0.9382	0.9574
8PL	0.8170	0.5367	0.8085	0.8250
12PL	0.5041	0.4388	0.5730	0.5871
16PL	0.5411	0.4302	0.5871	0.6046

#### 4.7.4 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución

En los resultados de la tabla xx se evidencia como la integración de 4 plantas presenta los mejores índices de eficiencia. Así esta configuración resulta ser la más optimista eficiente y pesimista ineficiente. Estos valores de eficiencia resultan positivos para esta configuración en todos los posibles cálculos de comparación. Para esta experimentación los índices de la configuración de 16 plantas mejoran en cada una de las combinaciones de cálculo respecto a las anteriores experimentaciones, lo cual indica que para este caso eficientemente hablando es la mejor opción.

**Tabla 32. Eficiencias agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución**

DMU	$D_0^t(x_0^t, y_0^t)$	$D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$	$D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)$
2PL	1.0000	1.0000	2.1199	1.4560
4PL	1.0000	1.0538	8.4995	5.7845
6PL	0.9166	0.6447	0.9647	0.9822
8PL	0.8170	0.5313	0.7973	0.8089
12PL	0.5041	0.3728	0.5561	0.5680
16PL	0.5411	0.7947	0.5988	0.6149

## 4.8 INDICE DE PRODUCTIVIDAD DE MALMQUIST

El índice de productividad de Malmquist evalúa la evolución de la eficiencia de las unidades a analizar teniendo como referencia los cambios que se presenten en el uso de tecnología del periodo  $t$  a  $t+1$ .

## 4.9 CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD PESIMISTAS

A continuación se mostrarán los índices de productividad del sistema mediante el uso del índice de productividad de Malmquist.

### 4.9.1 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente

Para esta modalidad de integración la única DMU que presenta un cambio en la eficiencia es para la de 4 plantas, la DMU 2PL no presenta ningún tipo de cambio, es decir no importa la condición en la que se encuentre, si integrada o no, la eficiencia y cambio tecnológico será los mismos. Como se evidenció en los resultados de análisis de rendimiento de medidas de desempeño, el cambio tecnológico es favorable en todas las DMU excepto para 4PL, lo que indica que este tipo de integración puede tener tendencia a mejorar el uso de capacidades productivas, pero la eficiencia con respecto al periodo  $t$  disminuye. Los resultados también indican que hay un punto de mejora en esas eficiencias en la DMU de 4 plantas, pero se requiere de más evidencia para demostrar que pueda ser la óptima alternativa.

**Tabla 33. Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente**

DMU	INDICE DE PRODUCTIVIDAD	CAMBIO TECNOLÓGICO	CAMBIO EN EFICIENCIA
2PL	1.000	1.000	1.000
4PL	3.805	0.263	14.479
6PL	0.664	1.506	0.441
8PL	0.671	1.491	0.450
12PL	0.691	1.447	0.477
16PL	0.697	1.435	0.485

#### 4.9.2 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente

El cálculo de productividad para esta comparación se presenta en la tabla 34. Los resultados difieren a los presentados en el párrafo anterior, aunque a que la DMU de 4 plantas obtenga la mejor puntuación de productividad. Para estas configuraciones el cambio tecnológico es siempre inferior a 1, excepto para la DMU 16PL, pero el cambio en eficiencia es contrario. Esto indica que con este tipo de integración resulta más productivo que el anterior, pese a disminuir en el uso de la tecnología, los cambios en eficiencia mejoran. Para la DMU 4PL el cambio en eficiencia se reduce casi a la mitad y su índice de cambio tecnológico no aumenta sino un 10.4% respecto al anterior.

**Tabla 34. Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente**

DMU	INDICE DE PRODUCTIVIDAD	CAMBIO TECNOLÓGICO	CAMBIO EN EFICIENCIA
2PL	1.044	0.958	1.090
4PL	2.723	0.367	7.416
6PL	1.045	0.957	1.091
8PL	1.049	0.953	1.100
12PL	1.049	0.953	1.100
16PL	0.947	1.056	0.897

#### 4.9.3 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical

Estos resultados se pueden observar en la tabla 35. El índice de productividad muestra que en todas las DMU, excepto para ocho plantas, han mejorado su productividad luego de esta configuración de integración. Para resaltar en cada una las DMU el cambio tecnológico es inferior a 1 lo que supone que esta configuración no basa su mejora en productividad apoyada en el uso de la tecnología existente, ésta es debido al cambio en eficiencia lo cual significa que en este caso son menos ineficientes. La DMU de cuatro plantas resulta con el mayor índice de productividad, seguida de la de dos plantas, para resaltar entre estas dos DMU es el menor uso de la tecnología respecto a las anteriores, su mejora es debida a un gran incremento en la eficiencia respecto al periodo  $t..$

**Tabla 35. Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente**

DMU	INDICE DE PRODUCTIVIDAD	CAMBIO TECNOLÓGICO	CAMBIO EN EFICIENCIA
2PL	2.19	0.261	8.396
4PL	7.767	0.853	9.103
6PL	1.048	0.96	1.091
8PL	0.98	0.96	1.021
12PL	1.295	0.951	1.362
16PL	1.177	0.943	1.248

#### **4.9.4 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución**

En este caso la configuración menos improductiva es la 16PL. Este caso al ser comparado con el parágrafo anterior resulta interesante debido a la configuración menor de centros de distribución y proveedores, pues todas disminuyen su productividad. Todas las DMU, excepto para 16PL, tienen una mejora en el uso de tecnología pero una ineficiencia significativamente mayor a la calcula anteriormente. La DMU de dos plantas no experimenta ningún cambio en su productividad del periodo  $t$  a  $t + 1$ . El cálculo de eficiencias para esta comparación se presenta en la tabla 36.

**Tabla 36. Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal –vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución**

DMU	INDICE DE PRODUCTIVIDAD	CAMBIO TECNOLÓGICO	CAMBIO EN EFICIENCIA
2PL	1.000	1.000	1.000
4PL	1.054	0.949	1.110
6PL	0.673	1.485	0.454
8PL	0.649	1.541	0.421
12PL	0.689	1.451	0.475
16PL	1.359	0.736	1.848

De esta forma se muestra como la mejor alternativa desde el punto de vista de índice de productividad de Malmquist pesimista para la cadena de suministro es la de cuatro plantas pues en todas las experimentaciones realizadas siempre mejora su productividad. La mejor productividad para estas experimentaciones se obtienen en la cadena de suministro

integrada horizontal-vertical, el uso de los recursos financieros de costos y utilización de capacidades de transporte se ven reflejadas en esta estrategia. En todas las experimentaciones siempre se obtuvo una cadena con índice de productividad inferior a 1 lo que indica que cualquier tipo de integración no es garantía para mejorar la eficiencia. Es necesario realizar estudios en configuración y prácticas integradoras para garantizar este objetivo.

#### 4.10 CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD OPTIMISTAS

A continuación se evalúan el cálculo de eficiencias para cada una de las diferentes experimentaciones a fin de determinar el mayor índice de productividad entre las diferentes DMU planteadas para la presente investigación.

##### 4.10.1 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente

El cálculo de eficiencias para esta comparación se presenta en la tabla 37. Para este caso ninguna DMU mejora su productividad, sólo para 2PL su índice es igual a 1 lo que significa que no ocurre ningún cambio entre los periodos de tiempo  $t$  y  $t + 1$ . En el resto todas las DMU poseen una mejora en el uso de tecnología pero su eficiencia siempre decrece con la integración. Esto es debido a que ocurre una mejora en el uso de capacidades en producción pero esto no garantiza que se mejore la eficiencia de todo el sistema logístico.

**Tabla 37. Índice de productividad optimista para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente**

DMU	INDICE DE PRODUCTIVIDAD	CAMBIO TECNOLÓGICO	CAMBIO EN EFICIENCIA
2PL	1.000	1.000	1.000
4PL	0.895	1.118	0.800
6PL	0.664	1.506	0.441
8PL	0.671	1.491	0.450
12PL	0.691	1.447	0.477
16PL	0.697	1.435	0.485



#### 4.10.2 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente

Como se puede observar en la tabla 38 para este tipo de integración su mayor índice de productividad es para la DMU 8PL pero es tan sólo de 2.1%. Para el conjunto de DMU estos valores son debidos al poco cambio en uso de tecnología del periodo tiempo  $t$  a  $t + 1$ . Este cambio es mejor aprovechado en la configuración de 16 plantas pero no garantiza una mejora en la eficiencia.

**Tabla 38. Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente**

DMU	INDICE DE PRODUCTIVIDAD	CAMBIO TECNOLÓGICO	CAMBIO EN EFICIENCIA
2PL	1.000	1.000	1.000
4PL	1.000	1.000	1.000
6PL	1.016	0.984	1.033
8PL	1.021	0.980	1.041
12PL	1.018	0.982	1.037
16PL	0.917	1.091	0.841

#### 4.10.3 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical

Para esta experimentación el índice de productividad mejora en todas las DMU, excepto para la configuración de 8 plantas, en este caso el mejor incremento de productividad se da para la configuración 2PL, con un índice de 2.19. Para esta experimentación se da una mejora en todas las DMU en el índice de cambio tecnológico pero el cambio en la eficiencia solo se mantiene igual para las dos primeras configuraciones, esto debido a que al integrarse la cadena de suministros bajo el esquema horizontal-vertical existe un mejor aprovechamiento de las capacidades en todo el sistema: transporte, producción, almacenamiento, pero esto no es sinónimo de mejora en la eficiencia en las entregas a los centros de distribución. Los resultados se muestran en la tabla 39.

**Tabla 39. Eficiencias optimistas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical.**

DMU	INDICE DE PRODUCTIVIDAD	CAMBIO TECNOLÓGICO	CAMBIO EN EFICIENCIA
2PL	2.190	2.190	1.000
4PL	1.894	1.894	1.000
6PL	1.048	2.320	0.452
8PL	0.980	2.319	0.423
12PL	1.292	2.323	0.556
16PL	1.177	2.325	0.506

#### **4.10.4 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución**

En este caso al menos todas las configuraciones mantienen su productividad respecto al periodo de tiempo en que no estaban integradas. Su máximo valor se encuentra en la DMU de 16PL con un aumento de 8%. Este incremento es debido al poco cambio en el uso de tecnología al pasar a integrarse la cadena bajo este tipo de configuración con la mitad de los centros de distribución y proveedores.

**Tabla 40. Índice de productividad para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal –vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución**

DMU	INDICE DE PRODUCTIVIDAD	CAMBIO TECNOLÓGICO	CAMBIO EN EFICIENCIA
2PL	1.000	1.000	1.000
4PL	1.000	1.000	1.000
6PL	1.045	0.957	1.091
8PL	1.002	0.998	1.004
12PL	1.073	0.932	1.151
16PL	1.080	0.926	1.167

Para los índices de productividad optimistas no hay claridad en el tipo de configuración que, dependiendo de la experimentación, siempre presente mejores resultados. La evidencia apunta que desde el punto de vista de la mejora de la productividad la

integración horizontal no es conveniente dado su bajo nivel de utilización de tecnología al realizar el cambio. Para poder obtener una mejor claridad en el resultado de índice de productividad es necesario obtener un índice agregado.

#### **4.11 INDICE DE PRODUCTIVIDAD AGREGADO**

En esta sección se propone utilizar la media geométrica del índice de productividad según la óptica input orientada (lo que caracteriza una conexión eficiente según el punto de vista de costos y viajes) y de la eficiencia según la óptica output (lo que caracteriza una conexión eficiente según el punto de vista de las entregas y ventas).

El índice de productividad agregado tiene en cuenta no sólo los cambios de eficiencia optimistas de las DMU, sino también sus cambios de eficiencia pesimistas, y no sólo los cambios de fronteras de eficiencia, sino también los movimientos de fronteras ineficiencia. Por tanto, es más amplia y más realista que el tradicional Análisis de Envolvente de Datos optimista.

##### **4.11.1 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente**

Los resultados de índice de productividad agregado para las mediciones entre las cadenas integradas horizontalmente y no integradas se muestran en la tabla xx. Para esta experimentación la única configuración que mejora su productividad es la DMU de 4PL en un 84.5%, en la configuración de dos plantas no se evidencia ningún cambio al ser integrada, el restante de configuraciones propuesta en el experimentación muestran un cambio desfavorable en la productividad al cambiar de periodo  $t$  a  $t + 1$ . Este tipo de integración no parece la mejor opción cuando el grado de complejidad del sistema logístico aumenta.

**Tabla 41. Productividad agregada para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontalmente**

INDICE MALMQUIST AGREGADO	
2PL	1.000
4PL	1.845
6PL	0.664
8PL	0.671
12PL	0.691
16PL	0.697

#### **4.11.2 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente**

Los resultados se observan en la tabla 42. Los índices de productividad mejoran en todas las DMU excepto para la de 16PL siendo mejor la de 4 plantas de procesos. Las diferencias entre ésta y el resto es significativa pues el cambio es aproximadamente de 62%.

**Tabla 42. Productividades agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada verticalmente**

INDICE MALMQUIST AGREGADO	
2PL	1.022
4PL	1.650
6PL	1.030
8PL	1.035
12PL	1.033
16PL	0.932

#### **4.11.3 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical**

En estos resultados se evidencia como la integración de 4 plantas resulta con los mejores índices. Este tipo de integración entrega mejores resultados para todas las DMU, excepto para 8PL donde su productividad es estable co respecto a la no integración, apenas baja en 0.2%. los resultados para las primeras configuraciones indican un crecimiento por

superior al doble de lo registrado antes de la integración, al igual que en los casos anteriores estos niveles de crecimiento se ven afectados con el crecimiento del sistema logístico. Los resultados pueden observarse en la tabla 43.

**Tabla 43. Productividades agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal –vertical**

INDICE MALMQUIST AGREGADO	
2PL	2.19
4PL	3.84
6PL	1.05
8PL	0.98
12PL	1.29
16PL	1.18

#### **4.11.4 Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal-vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución**

En los resultados de la tabla xx se evidencia como la productividad baja para las todas las DMU excepto para la configuración de 16 plantas y 8 centros de distribución, pues esta configuración presenta un incremento de 21.1% respecto a la cadena no integrada. El cambio respecto a la configuración del parágrafo anterior también evidencia un cambio pues el tener menos centros de distribución parece no generar un efecto positivo en el uso de recursos. Es necesario realizar más investigaciones al respecto para determinar cómo afectan la complejidad de los sistemas logísticos en la productividad.

**Tabla 44. Productividades agregadas para Cadena de suministro no integrada vs cadena integrada horizontal–vertical con la mitad del número de proveedores y centros de distribución**

INDICE MALMQUIST AGREGADO	
2PL	1.000
4PL	1.027
6PL	0.839
8PL	0.806
12PL	0.860
16PL	1.211

#### **4.12 CONCLUSIONES PARCIALES**

Según el análisis de productividad sobre la cadena de suministro modelada, el índice Malmquist demuestra que la hipótesis planteada no siempre es válida: La integración horizontal y vertical de los sistemas que componen la cadena de suministro afectará positivamente la productividad de todo el sistema logístico. Según los valores, éste índice no aumentó la productividad en la cadena integrada vertical y horizontal con 8 plantas e igual número de centros de distribución y proveedores con una disminución de 0.02%, si la integración se realiza con un número inferior de centros de distribución el índice de productividad disminuye en 19.4%. Así esa integración debe realizarse de acuerdo a un estudio más minucioso del grado de integración y complejidad de la misma.

En la cadena con tres plantas e igual número de centros de distribución su nivel superó tres veces la productividad de la cadena no integrada, pero este incremento es debido al cambio de eficiencia calculado de forma pesimista, es decir el alto porcentaje de cambio es resultado de la alta improductividad que presenta esta configuración debido al alto nivel presentado en el incremento de las ventas en centros de consumo al pasar de \$ 4.609.159.000 al no estar integrada a \$30.738.400.000 con la integración de todos los actores de la cadena.

Si se compara este resultado con una integración configurando la cadena con la mitad de los proveedores y centros de distribución respecto al número de plantas se evidencia que

la productividad es menor comparada con los resultados de la configuración con todos los centros de distribución pese a poseer un indicador de crecimiento igual al caso de configuración con todos los actores; su baja productividad es debido a que desde la perspectiva optimista o de los costos de operación estos mantienen su nivel de eficiencia 1, es decir que no presentan ningún cambio de pasar de una cadena no integrada a una integrada.

No todas las formas de integración tienen los mismos efectos, así para una configuración de 2 plantas se obtiene un mayor crecimiento en productividad al integrarse horizontal y vertical con igual número de plantas y centros de distribución (más del doble de incremento) que integrada horizontalmente con índice igual a 1 (sin cambios). Para una configuración de 8 plantas es mejor integrarse verticalmente con un incremento de 3.5% a integrarse horizontalmente con una pérdida de productividad de 22.9% o para una cadena configurada con 16 plantas, según el modelo desarrollado, es conveniente realizar una integración con la mitad de los centros de distribución y proveedores con un incremento en productividad de 21.1% contra una pérdida de productividad con solo integración horizontal de plantas de 20.3%.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

El presente estudio evidencia que la integración de la cadena de suministro en general no demuestra tener un gran impacto en sus resultados como lo afirma Cousins y Menguc. Para realizar un estudio de esta naturaleza es conveniente trabajar en casos particulares para determinar con certeza qué tipo de práctica integradora es necesaria, la configuración, el nivel de integración y colaboración.

El diseño y validación de un modelo de programación entera mixta de cadena de suministro en el cual se incorporaran el mayor número de variables posibles en un sistema logístico es apropiado para el estudio debido a al alcance del mismo al tratarse de una investigación empírica, pero para realizar investigación aplicada es necesario conocer más a profundidad el sistema a estudiar para determinar el tipo de modelo a desarrollar. Por ejemplo si en el sistema se presenta un grado de incertidumbre alto, este modelo no es válido pues no se tiene en cuenta esa limitación. Por lo tanto los resultados aquí presentados sólo son válidos para el ambiente recreado, base del estudio de literatura en modelos de cadena de suministro bajo el enfoque de programación lineal entera mixta.

Al validar los resultados del modelo con un simple estudio de cambio de medias de desempeño de la cadena de suministro no integrada a integrada se evidencia lo descrito por Min y Menzer al reconocen que el vínculo entre el integración y el rendimiento es débil, debido al carácter determinista del modelo. Pese a estas limitaciones del modelo como estudio es válido para reconocer que hablar de mejoras en el rendimiento de indicadores de gestión de la cadena de suministro es necesario hablar de un amplio número de estas. Así fue claro que la integración puede disminuir un indicador como los costos de transporte pero al mismo tiempo aumentar otro costo de producción; aumentar el número de viajes de medios de transporte pero disminuir el número de entregas efectivas en los centros de mercadeo. Por ejemplo en el caso de la integración horizontal y vertical de 4 plantas de proceso los costos de distribución por transporte aumentan un 24.4% pero ese efecto por el incremento de viajes a centros de proceso generan una



disminución en compra de insumos para la transformación de materias primas en productos terminados en 62.2% generando al mismo tiempo una mejora en los costos totales de gestión de 45.5%. Igualmente a pesar de un aumento en el número de viajes de vehículos del 3.4% originó unas ventas superiores a 6 veces el valor cuando la cadena no estaba integrada, reflejada en incremento en ventas al exterior y una mejor utilización de las capacidades tanto de producción como de medios de transporte.

Dados estos resultados sugieren que para el cálculo del índice de productividad de Malmquist es necesario realizarlo bajo la perspectiva de los enfoques optimista y pesimista a fin de tener en cuenta no sólo los cambios de fronteras de eficiencia basadas en los costos de gestión del sistema y viajes usados en las operaciones logísticas, sino también los movimientos de fronteras de ineficiencia basadas en los cambios de unidades entregadas e ingresos por ventas. Por tanto, es más amplia y más realista que el tradicional cálculo optimista. Así con solo el cálculo optimista de productividad el mejor índice sería para la configuración de dos plantas integradas horizontal y vertical con un incremento superior al 200%, pero al realizar el cálculo con ambos puntos de vista el mejor incremento en el índice productividad es para la cadena de cuatro plantas e igual número de centros de distribución con integración horizontal y vertical y un índice superior al 300%.

Con los resultados obtenidos en índice de productividad de cadenas de suministro integradas horizontal y vertical para 6, 8 y 12 plantas se corrobora la afirmación realizado por Stank, et al. referente a que la colaboración externa no conduce a mejores resultados en el servicio logístico, pues sus resultados respectivamente de 16.1%, 19.4% y 14.0% de decrecimiento de la productividad del todo el sistema al integrarlo lo confirman.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Para mejorar los resultados obtenidos referentes al incremento de cadenas de suministro integradas es conveniente realizar estudios sobre sistemas con algún tipo de incertidumbre, empleando ya sea Lógica Difusa o simulación.

Como los resultados indican que a medida que la cadena de suministro tienen más actores involucrados la hacen un sistema más complejo se hace necesario realizar estudios referentes a herramientas de investigación de operaciones y sistemas complejos aplicada a cadenas de suministro.

Se puede replicar el estudio realizando diferentes comparaciones entre resultados obtenidos con varios criterios de decisión como maximización de utilidad, maximización de productividad parcial de recursos, maximización capacidad de producción, programación multi-objetivo, entre otras.

## BIBLIOGRAFÍA

Ahmad, S., Schroeder, R.G. The impact of electronic data interchange on delivery performance. *Production and Operations Management*. 2001. Volume 10, Issue 1, pages 16–30

Akkermans, H.A., Bogerd, P., Vos, B. Virtuous and vicious cycles on the road towards international supply chain management. *International Journal of Operations and Production Management*. 1999. Vol. 19 No. 5/6, 1999, pp. 565-581.

Anderson, M. G., Katz, P. B. Strategic Sourcing. *Journal of Logistics Management*, The. 1998. Vol. 9 Iss: 1, pp.1 - 13

Bagchi, P. K, Skjoett-Larsen, T. Integration of Information Technology and Organizations in a Supply Chain *International Journal of Logistics Management*, The. 2003. Vol. 14 Iss: 1, pp.89 - 108

Bagchi, P. K., Ha, B. C., Skjoett-Larsen, T., Soerensen, L. S. Supply chain integration: a European survey. *International Journal of Logistics Management*, The. 2005 Vol. 16 Iss: 2, pp.275 - 294

Barut, M., Faisst, W., Kanet, J.J., 2002. Measuring supply chain coupling: an information system perspective. *European Journal of Purchasing and Supply Management* 8 (3), 161–171.

Bates, H., Slack, N. What happens when the supply chain manages you. A knowledge-based response. *European Journal of Purchasing & Supply Management*. 1998 Vol. 4, Issue 1, pp. 63–72

Beamon, Benita M.. Supply Chain Design and Análisis: Models and Methods. *International Journal Of Production Economics*. 1998. 55, (3), 281-294,

Bechtel, C., Jayaram, J. Supply Chain Management: A Strategic Perspective. *International Journal of Logistics Management*. 1997 Vol. 8 Iss: 1, pp.15 - 34

Birou, L.M., Fawcett, S. E., Magnan, G. M. The Product Life Cycle: A Tool for Functional Strategic Alignment *Journal of Supply Chain Management*. 1998 Volume 34, Issue 2, pages 37–52,

Böhme, T., Childerhouse, P., Deakins, E. Supply chain integration in New Zealand: benchmark comparisons with the UK automotive sector *International Journal of Logistics and Transport*. 2011 Vol. 5, Iss 1, 85-92.

Boon-itt, S., Wong, C. Y. The moderating effects of technological and demand uncertainties on the relationship between supply chain integration and customer delivery performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2011. Vol. 41 Iss: 3, pp. 253 – 276

Bosona, T.G., Gebresenbet, G. Cluster building and logistics network integration of local food supply chain. *Biosystems Engineering*. 2011. Volume 108, Issue 4, pp. 293-302

Bowersox, D.J., Closs, D.J. and Cooper, M.B. *Supply Chain Logistics Management*. McGraw-Hill. 2002

Bowersox, D.J., Closs, D.J., Stank, T.P. *21st Century Logistics: Making Supply Chain Integration a Reality* Council of Logistics Management, Oak Brook, IL. 1999

Cagliano, R., Caniato, F., Spina, G., 2003. E-business strategy. *International Journal of Operations and Production Management* 23 (10), 1142–1162.

Cagliano, R., Caniato, F., Spina, G. The linkage between supply chain integration and manufacturing improvement programmes *International Journal of Operations & Production Management*. 2006. Vol. 26 Iss: 3, pp. 282 - 299

Cai, S., Jun, M., Yang, Z. Implementing supply chain information integration in China: The role of institutional forces and trust. *Journal of Operations Management*. 2010. Volume 28, Issue 3, pp. 257-268

Cao, M. & Zhang, Q. 2011, "Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance", *Journal of Operations Management*, vol. 29, no. 3, pp. 163-180.

Cao, M., Zhang, Q. Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance. *Journal of Operations Management*. 2011. Vol. 29 pp. 163–180

Caputo, M., Mininno, V. Internal, vertical and horizontal logistics integration in Italian grocery distribution. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 1996 Vol. 26 Iss: 9, pp. 64 - 90

Carr, A., Kaynak, H. Communication methods, information sharing, supplier development and performance: An empirical study of their relationships. *International Journal of Operations & Production Management*. 2007. Vol. 27 Iss: 4, pp. 346 - 370

Carrasco, J., 2000. Evolución de los enfoques y conceptos de logística: su impacto en la dirección y la gestión de las organizaciones. *Economía industrial*. No. 331. 17-34.

Carvalho, H., Barroso, A.P., Machado, V.H., Azevedo, S. & Cruz-Machado, V. 2012, "Supply chain redesign for resilience using simulation", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 62, no. 1, pp. 329-341.

Casanova, F. 2002. Formación profesional, productividad y trabajo decente. Boletín nº153 Cinterfor. Montevideo.

Chae, B., Yen, H. R., Sheu, C. Information technology and supply chain collaboration: moderating effects of existing relationships between partners. *Engineering Management, IEEE Transactions on*. 2005 Vol. 52, Issue 4 pp. 440 - 448

Chang, C-W., Chiang, D. M., Pai, F.Y. Cooperative strategy in supply chain networks. *Industrial Marketing Management*. 2012

Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E. 1978, "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research*, vol. 2, no. 6, pp. 429-444.

Chen, C. & Yan, H. 2011, "Network DEA model for supply chain performance evaluation", *European Journal of Operational Research*, vol. 213, no. 1, pp. 147-155.

Chen, H., Mattiotta, D. D., Daugherty, P. J. Firm-wide integration and firm performance. *International Journal of Logistics Management*, The. 2007. Vol. 18 Iss: 1, pp. 5 - 21

Chen, I.J., Paulraj, A. Understanding supply-chain management: critical research and a theoretical framework. *International Journal of Production Research*. 2004a Vol. 42 Issue 1, pp. 131-163.

Chen, I.J., Paulraj, A. Towards a theory of supply-chain management: the constructs and measurement. *Journal of Operations Management*. 2004b Vol. 22 Iss 2, 119–150.

Cheng, J. C. P., Law, K. H., Bjornsson, H., Jones, A., Sriram, R. A service oriented framework for construction supply chain integration *Automation in Construction*. 2010 Volume 19, Issue 2, pp. 245-260

Cheung, C.F., Cheung, C.M., Kwok, S.K. A Knowledge-based Customization System for Supply Chain Integration *Expert Systems with Applications*. 2012 Volume 39, Issue 4, pp. 3906-3924

Cheung, M., Myers, M.B. & Mentzer, J.T. 2010, "Does relationship learning lead to relationship value? A cross-national supply chain investigation", *Journal of Operations Management*, vol. 28, no. 6, pp. 472-487.

Childerhouse, P., Deakins, E., Böhme, T., Towill, D.R., Disney, S. M., Banomyong, R. Supply chain integration: an international comparison of maturity *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*. 2011 Vol. 23 Iss: 4, pp. 531 - 552

Chopra, S. 2003. Designing the distribution network in a supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 39, (2), 123-140

Chopra, S., Meindl, P. *Supply chain management: strategy, planning, and operation* Pearson Prentice Hall, 2007

Christopher, M. *Logistics & Supply Chain Management*. London, Pitmans. 1998

Christopher, M. *Logistics And Supply Chain Management: Creating Value-Adding Networks* Financial Times Prentice Hall, 2005

Christopher, M., Juttner, U., 2000. Supply chain relationships: making the transition to closer integration. *International Journal of Logistics: Research and Applications* 3 (1), 5–23.

Cigolini, R., Cozzi, M., Perona, M. A new framework for supply chain management: Conceptual model and empirical test *International Journal of Operations & Production Management*. 2004 Vol. 24 Iss: 1, pp. 7 – 41

Closs, D. J., Savitskie, K. Internal and External Logistics Information Technology Integration. *International Journal of Logistics Management*, The. 2003 Vol. 14 Iss: 1, pp. 63 - 76

Collin, J., Eloranta, E., Holmström, J. How to design the right supply chains for your customers *Supply Chain Management: An International Journal*. 2009 Vol. 14 Iss: 6, pp. 411 - 417

Cook, W.D. & Seiford, L.M. 2009, "Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on", *European Journal of Operational Research*, vol. 192, no. 1, pp. 1-17.

Cooper, J. "Innovation in Logistics: The Impact on Transport and the Environment" in *Studies in Environmental Science* Elsevier, , pp. 235-253.

Coronado, A. E., Lalwani, C., Coronado, C. E. Measures for auditing performance and integration in closed-loop supply chains *Supply Chain Management: An International Journal*. 2011 Vol. 16 Iss: 1, pp. 43 - 56

Cousins, P. D., Menguc, B. The implications of socialization and integration in supply chain management *Journal of Operations Management*. 2006 Volume 24, Issue 5, Pages 604-620

Crespo Marquez, A., Rubiano O. 2003. The effectiveness of using e-collaboration tools in the supply chain: an assessment study with system dynamics. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9, (4), 151-163

Danese, P., Romano, P., Formentini, M. The impact of supply chain integration on responsiveness: The moderating effect of using an international supplier network *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2013 Volume 49, Issue 1, Pages 125-140

Danese, P., Romano, P., Vinelli, A., 2006. Sequences of improvement in supply networks: case studies from the pharmaceutical industry. *International Journal of Operations and Production Management* 26 (11), 1199–1222.

Danese, P., Romano, P. Supply chain integration and efficiency performance: a study on the interactions between customer and supplier integration *Supply Chain Management: An International Journal*. 2011. Vol. 16 Iss: 4, pp. 220 – 230

Danese, P. The extended VMI for coordinating the whole supply network *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2006 Vol. 17 Iss: 7, pp. 888 - 907

Das, A., Narasimhan, R., Talluri, S., 2006. Supplier integration – finding an optimal configuration. *Journal of Operations Management* 24 (5), 563–582.

De la Fuente, M. V., Ros L., Ortiz, A. Enterprise modelling methodology for forward and reverse supply chain flows integration *Computers in Industry*. 2010 Vol. 61. pp. 702–710

Delbufalo, E. Outcomes of inter-organizational trust in supply chain relationships: a systematic literature review and a meta-analysis of the empirical evidence *Supply Chain Management: An International Journal*. 2012 Vol. 17 Iss: 4, pp. 377 - 402

Devaraj, S., Krajewski, L., Wei, J.C., Impact of e-business technologies on operational performance: the role of production information in the supply chain. *Journal of Operations Management*. 2007. Vol. 25 Issue 6, pp. 1199–1216

Ding, H., Guo, B., Liu, Z. Information sharing and profit allotment based on supply chain cooperation *International Journal of Production Economics*. 2011. Volume 133, Issue 1, pp. 70-79

Disney, S.M., Towill, D.R. Vendor-managed inventory and bullwhip reduction in a two-level supply chain *International Journal of Operations & Production Management*. 2003. Vol. 23 Iss: 6, pp. 625 - 651

Droge, C., Vickery, S. K., Jacobs, M. A. Does supply chain integration mediate the relationships between product/process strategy and service performance? An empirical study *International Journal of Production Economics*. 2012. Vol. 137, Issue 2, pp. 250-262

Dyer, J.H. *Collaborative Advantage: Winning through Extended Enterprise Supplier Networks* Oxford University Press, New York, NY. 2000

Ellinger, A., Shin, H., Northington, W. M., Adams, F. G., Hofman, D., O'Marah, K. The influence of supply chain management competency on customer satisfaction and shareholder value. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2012. Vol. 17 Iss: 3, pp. 249 – 262



Estampe, D., Lamouri, S., Paris, J-L., Brahim-Djelloul, S. A framework for analysing supply chain performance evaluation models *International Journal of Production Economics*. 2010

Evangelista, P., Mogre, R., Perego, A., Raspagliesi, A., Sweeney, E. A survey based analysis of IT adoption and 3PLs' performance *Supply Chain Management: An International Journal*. 2012 Vol. 17 Iss: 2, pp.172 - 186

Fabbe-Costes, N., Jahre, M. Supply chain integration and performance: a review of the evidence *International Journal of Logistics Management*, The. 2008. Vol. 19 Iss: 2, pp.130 - 154

Fabbe-Costes, N., Jahre, M. Supply chain integration improves performance: the Emperor's new suit? *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2007 Vol. 37 Iss: 10, pp.835 - 855

Fawcett, S. E., Jones, S. L., Fawcett, A. M. Supply chain trust: The catalyst for collaborative innovation. *Business Horizons*. 2012 Volume 55, Issue 2, pp. 163-178

Fawcett, S. E., Magnan, G. M. The rhetoric and reality of supply chain integration *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* .2002 Vol. 32 Iss: 5, pp.339 - 361

Fawcett, S.E., Magnan, G.M. Ten Guiding Principles for High-Impact SCMBusiness Horizon. 2004 Vol. 47 Issue 5, 67–74.

Fayard, D., Lee, L. S., Leitch, R. A., Kettinger, W. J. Effect of internal cost management, information systems integration, and absorptive capacity on inter-organizational cost management in supply chains. *Accounting, Organizations and Society*. 2012 Volume 37, Issue 3, pp. 168-187

Fiala, P. Information sharing in supply chains *Omega*. 2005 Vol- 33, Issue 5, pp. 419–423

Fliess, S., Becker, U. Supplier integration—Controlling of co-development processes *Industrial Marketing Management*. 2006. Volume 35, Issue 1, pp. 28-44

Flynn, B.B., Huo, B. & Zhao, X. 2010, "The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach", *Journal of Operations Management*, vol. 28, no. 1, pp. 58-71.

Forslund, H., Jonsson, P. Obstacles to supply chain integration of the performance management process in buyer-supplier dyads: The buyers' perspective. *International Journal of Operations & Production Management*. 2009 Vol. 29 Iss: 1, pp. 77 - 95

Frohlich, M. e-Integration in the Supply Chain: Barriers and Performance. *Decision Sciences*. 2002 Volume 33, Issue 4, pages 537–556.

Frohlich, M. T., Westbrook R. Arcs of integration: an international study of supply chain strategies. *Journal of Operations Management*. 2001 Volume 19, Issue 2, Pages 185-200

Ganga, G.M.D. & Carpinetti, L.C.R. 2011, "A fuzzy logic approach to supply chain performance management", *International Journal of Production Economics*, vol. 134, no. 1, pp. 177-187.

García, F. 2002. Análisis de las Cadenas de Suministros: Una descripción documental de la concepción de los sistemas de suministro, producción, distribución y colocación final de productos. Tesis de Maestría. Universidad Anáhuac.

Geary, S., Disney, S. M., Towill, D. R. On bullwhip in supply chains—historical review, present practice and expected future impact. *International Journal of Production Economics*. 2006 Volume 101, Issue 1, Pages 2-18

Germain, R., Iyer, K.N.S. The interaction of internal and downstream integration and its association with performance. *Journal of Business Logistics*. 2006. Vol. 27 Issue 2, PP. 29–53.

Giménez, C. Supply Chain Management implementation in the Spanish grocery sector: an exploratory study. *International Journal of Integrated Supply Management*. 2004. Volume 1, Number 1. Pages 98-114

Gimenez, C., van der Vaart, T., van Donk, D. P. Supply chain integration and performance: the moderating effect of supply complexity. *International Journal of Operations & Production Management*. 2012. Vol. 32 Iss: 5, pp. 583 – 610

Gimenez, C., Ventura, E., 2005. Logistics-production, logistics-marketing and external integration: their impact on performance. *International Journal of Operations and Production Management* 25 (1), 20–38.

Gimenez, C., Ventura, E. Logistics-production, logistics-marketing and external integration: Their impact on performance. *International Journal of Operations & Production Management*. 2005 Vol. 25 Iss: 1, pp. 20 - 38

Goffin, K., Lemke, F., Szejcowski, M. An exploratory study of 'close' supplier–manufacturer relationships. *Journal of Operations Management*. 2006. Volume 24, Issue 2, pp. 189–209

Guan, W., Rehme, J. Vertical integration in supply chains: driving forces and consequences for a manufacturer's downstream integration *Supply Chain Management: An International Journal*. 2012 Vol. 17 Iss: 2, pp.187 - 201

Gulati, R., Sytch, M. Dependence Asymmetry and Joint Dependence in Interorganizational Relationships: Effects of Embeddedness on a Manufacturer's Performance in Procurement Relationships. *Administrative Science Quarterly*. 2007 Vol. 52 no. 1 32-69

Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T. Information systems in supply chain integration and management *European Journal of Operational Research*. 2004 Volume 159, Issue 2, pp. 269–295

Gupta, A., Maranas, C. 2001. Multiperiod planning of multisite supply chains under demand uncertainty. *Computer Aided Chemical Engineering*, 9, 871-876

Häkkinen, L., Norrman, A., Hilmola, O-P., Ojala, L. Logistics Integration in Horizontal Mergers and Acquisitions. *International Journal of Logistics Management*, The. 2004 Vol. 15 Iss: 1, pp.27 - 42

Halldorsson, A., Kotzab, H., Mikkola, J., Skjøtt-Larsen, T. Complementary theories to supply chain management *Supply Chain Management: An International Journal*. 2007. Vol. 12 Iss: 4, pp.284 - 296

Handfield, R., Petersen, K., Cousins, P., Lawson, B. An organizational entrepreneurship model of supply management integration and performance outcomes *International Journal of Operations & Production Management*. 2009 Vol. 29 Iss: 2, pp.100 – 126

Harland, C. M. *Supply Chain Management: Relationships, Chains and Networks*. *British Journal of Management*. 1996 Volume 7, Issue Supplement s1, pages S63–S80

Harland, C.M., Lamming, R.C. and Cousins, P.D. Developing the concept of supply strategy *International Journal of Operations and Production Management*. 1999 Vol. 19 Issue 7 pp. 650-673.

He, Y., Lai, K. K. Supply chain integration and service oriented transformation: Evidence from Chinese equipment manufacturersInternational Journal of Production Economics. 2012 Volume 135, Issue 2, pp. 791-799

He, Y., Lai, K. K. Supply chain integration and service oriented transformation: Evidence from Chinese equipment manufacturersInternational Journal of Production Economics. 2012 Volume 135, Issue 2, Pages 791-799

Hines, P., Rich, N., Bicheno, J., Brunt, D., Taylor, D., Butterworth, C., Sullivan, J.Value stream management. International Journal of Logistics Management. 1997Vol.9 Issue 1, pp. 25-42

Ho, D.C.K., Au, K.F., Newton, E., Empirical research on supply chain management: a critical review and recommendations. International Journal of Production Research 2002. Vol. 40 (17), 4415–4430.

Holweg, M., Pil, F.K.Theoretical perspectives on the coordination of supply chainsJournal of Operations Management. 2008 Vol.26, Issue 3, pp. 389–406

Homburg, C., Stock, R.M. The link between salespeople's job satisfaction and customer satisfaction in a business-to-business context: a dyadic analysis. Journal of Academy of Marketing Science. 2004 Vol. 32 Issue 2, 144-158

Huang, B., Ye, Z. The effects of lumpy demand and shipment size constraint: A response to "Revisit the note on supply chain integration in vendor-managed inventory" Decision Support Systems.2010Volume 48, Issue 2, pp. 421-425

J.D. Pagh, M.C. Cooper Supply chain postponement and speculation strategies: how to choose the right strategyJournal of Business Logistics. 1998 Vol. 19 Issue 2, pp. 13–33

Jaehne, D.M., Li, M., Riedel, R., Mueller, E. Configuring and operating global production networks.International Journal of Production Research. 2009 Vol. 47 Issue 8, pp. 2013–2030

Jayaram, J. & Tan, K. 2010, "Supply chain integration with third-party logistics providers", *International Journal of Production Economics*, vol. 125, no. 2, pp. 262-271.

Jayaram, J., Tan, K. Supply chain integration with third-party logistics providers International Journal of Production Economics.2010Volume 125, Issue 2, June 2010, Pages 262-271

Jonsson, S., Gunnarsson, C. Internet technology to achieve supply chain performance. *Business Process Management Journal*. 2005 Vol. 11 Iss: 4, pp. 403 - 417

Jüttner, U., Christopher, M., Godsell, J. A strategic framework for integrating marketing and supply chain strategies. *International Journal of Logistics Management*, The. 2010. Vol. 21 Iss: 1, pp. 104 – 126

Kalakota, R., Robinson, M. *e-Business 2.0: Roadmap for Success*. Addison-Wesley Professional, Boston, MA. 2001

Kalenatic, D., González, L., López, C., Arias, L. 2009. El sistema de gestión tecnológica como parte del sistema logístico en la era del conocimiento. *Cuadernos de Administración*, Vol. 22, Núm. 39, julio-diciembre, 2009, pp. 257-286

Kannan, V. R., Tan, K. C. Supply chain integration: cluster analysis of the impact of span of integration *Supply Chain Management: An International Journal*. 2010 Vol. 15 Iss: 3, pp. 207 - 215

Katunzi, T. M. Obstacles to process integration along the supply chain: manufacturing firm's perspective. *International Journal of Business and Management*. 2011 Vol. 6 pp. 105–113

Kilpatrick, J., Factor, R. Logistics in Canada survey: tracking year 2000 supply chain issues and trends *Materials Management and Distribution*. 2000 Vol. 45 No.1, pp. 16-20.

Kim, S. W. The effect of supply chain integration on the alignment between corporate competitive capability and supply chain operational capability *International Journal of Operations & Production Management*. 2006 Vol. 26 Iss: 10, pp. 1084 - 1107

Kim, S. An investigation on the direct and indirect effect of supply chain integration on firm performance *International Journal of Production Economics*. 2009 Volume 119, Issue 2, pp. 328-346

Kim, S. W., Narasimhan, R., 2002. Information system utilization in supply chain integration efforts. *International Journal of Production Research* 40 (18), 4585–4609.

Koçoğlu, İ., İmamoğlu, S. Z., İnce, H., Keskin, H. The effect of supply chain integration on information sharing: Enhancing the supply chain performance *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2011 Vol. 24, pp. 1630-1649

Kotzab, H., Teller, C., Grant, D. B., Sparks, L.. Antecedents for the adoption and execution of supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*.2011Vol. 16 Iss: 4, pp.231 - 245

Koufteros, X.A., Cheng, T.C.E., Lai, K.H.Black-box and gray box supplier integration in product development: antecedents, consequences and the moderating role of firm size*Journal of Operations Management*. 2007Vol. 25 issue 4, 847–870.

Kulp, S.C., Lee, H.L., Ofek, E., 2004. Manufacturer benefits from information integration with retail customers. *Management Science* 50 (4), 431–444.

La Londe, B. J., Masters, J. M.Emerging Logistics Strategies: Blueprints for the Next Century*International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 1994Vol. 24 Iss: 7, pp.35 - 47

Lam, C.Y., Ip, W.H.A customer satisfaction inventory model for supply chain integration *Expert Systems with Applications*.2011pp. 875-883

Lambert, D. M., & Cooper, M. C.Issues in Supply Chain Management*Industrial Marketing Management*. 2000 Volume 29, Issue 1, Pages 65-83

Lau, A. K. W.,Yam, R. C. M., Tang, E. P. Y.Supply chain integration and product modularity: An empirical study of product performance for selected Hong Kong manufacturing industries. *International Journal of Operations & Production Management*.2010Vol. 30 Iss: 1, pp.20 – 56

Lee, H., Whang, S. 2005. Higher supply chain security with lower cost: Lessons from total quality management. *International Journal of Production Economics*, 96, (3), 289-300.

Lee, H., Whang, S. Information sharing in a supply chain*International Journal of Manufacturing Technology and Management*. 2000 Volume 1, Number 1. Pages 79-93

Lee, H.Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties. *California Management Review*. 2002Volume 44, Number 3, pp. 104-119

Lee, H.L., Billington, C. Managing supply chain inventory: pitfalls and opportunities. *Sloan Management Review*. 1992Vol. 33 Issue 3, 65–73.

Leitner, R., Meizer, F., Prochazka, M. & Sihn, W. 2011, "Structural concepts for horizontal cooperation to increase efficiency in logistics", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 4, no. 3, pp. 332-337.

Lejeune, N., Yakova, N. On characterizing the 4 C's in supply chain management. *Journal of Operations Management*. 2005 Vol. 23 Issue1, 81–100.

Li, G., Yang, H., Sun, L., Sohal, A. S. The impact of IT implementation on supply chain integration and performance. *International Journal of Production Economics*. 2009 Volume 120, Issue 1, pp. 125–138

Lin, Y., Wang, Y., Yu, C. Investigating the drivers of the innovation in channel integration and supply chain performance: A strategy orientated perspective. *International Journal of Production Economics*. 2010 Volume 127, Issue 2, pp. 320-332

Liu, S., Kasturiratne, D., Moizer, J. A hub-and-spoke model for multi-dimensional integration of green marketing and sustainable supply chain management. *Industrial Marketing Management*. 2012 Volume 41, Issue 4, pp. 581-588

Longinidis, P., Georgiadis, M. C. Integration of financial statement analysis in the optimal design of supply chain networks under demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*. 2011 Volume 129, Issue 2, pp. 262-276

Maniadakis, N. & Thanassoulis, E. 2004, "A cost Malmquist productivity index", *European Journal of Operational Research*, vol. 154, no. 2, pp. 396-409.

Matopoulos, A., Vlachopoulou, M., Manthou, V., Manos, B. A conceptual framework for supply chain collaboration: empirical evidence from the agri-food industry. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2007 Vol. 12 Iss: 3, pp. 177 - 186

McAdam, R., McCormack, D. Integrating business processes for global alignment and supply chain management. *Business Process Management Journal*. 2001 Vol. 7 Iss: 2, pp. 113 - 130

McCarthy-Byrne, T. M., Mentzer, J. T. Integrating supply chain infrastructure and process to create joint value. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2011 Vol. 41 Iss: 2, pp. 135 - 161

Mejías-Sacaluga, A. M., Prado-Prado, J. C. Integrated Logistics Management in the Grocery Supply Chain. *International Journal of Logistics Management*, The. 2002 Vol. 13 Iss: 2, pp. 67 - 78

Morgan, C. Supply network performance measurement: future challenges? *International Journal of Logistics Management*, The. 2007 Vol. 18 Iss: 2, pp. 255 - 273

Mortensen, O., Lemoine, O. W. Integration between manufacturers and third party logistics providers? *International Journal of Operations & Production Management*. 2008 Vol. 28 Iss: 4, pp. 331 - 359

Mouritsen, J., Skjøtt-Larsen, T., Kotzab, H. Exploring the contours of supply chain management. *Integrated Manufacturing Systems*. 2003 Vol. 14 Iss: 8, pp. 686 - 695

Nagurney, A. 2009. A system-optimization perspective for supply chain network integration: The horizontal merger case. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 45 (1), 1-15

Nananukul, N., Bard, J. 2008. Heuristics for a multiperiod inventory routing problem with production decisions. *Computers & Industrial Engineering*, 57 (3) 713-723

Narasimhan, R., Kim, S. INFORMATION SYSTEM UTILIZATION STRATEGY FOR SUPPLY CHAIN INTEGRATION *Journal of Business Logistics*. 2001 Volume 22, Issue 2, pages 51-75

Narasimhan, R., Nair, A. The antecedent role of quality, information sharing and supply chain proximity on strategic alliance formation and performance. *International Journal of Production Economics*. 2005 Volume 96, Issue 3, pp. 301-313

Naylor, J.B., Naim, M.M., Berry, D. Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. *International Journal of Production Economics*. 1999 Vol. 62, Issues 1-2, pp 107-118

Neely, A., Mills, J., Platts, K., Richards, H., Gregory, M., Bourne, M., Kennerley, M. Performance measurement system design: developing and testing a process-based approach *International Journal of Operations & Production Management*. 2000 Vol. 20 No. 10 pp. 1119-1145.

Netland, T. H., Alfnes, E., Fauske, H. How mature is your supply chain? - A supply chain maturity assessment test 2008

New, S. J. The scope of supply chain management research *Supply Chain Management: An International Journal*. 1997 Vol. 2 Iss: 1, pp. 15 - 22



Nyaga, G. N., Whipple, J. M., Lynch, D. F. Examining supply chain relationships: Do buyer and supplier perspectives on collaborative relationships differ? *Journal of Operations Management*. 2010. Volume 28, Issue 2, pp. 101-114

Pagell, M. Understanding the factors that enable and inhibit the integration of operations, purchasing and logistics *Journal of Operations Management*. 2004 Volume 22, Issue 5, Pages 459–487

Pålsson, H., Johansson, O. Supply chain integration obtained through uniquely labelled goods: A survey of Swedish manufacturing industries *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2009 Vol. 39 Iss: 1, pp. 28 - 46

Panayides, P. M., Lun, Y. H. V. The impact of trust on innovativeness and supply chain performance. *International Journal of Production Economics* 2009 Volume 122, Issue 1, pp. 35–46

Parente, R. p., Baack, D. w., Hahn, E. D. The effect of supply chain integration, modular production, and cultural distance on new product development: A dynamic capabilities approach *Journal of International Management*. 2011 Volume 17, Issue 4, pp. 278-290

Paulraj, A., Chen, I. J., Flynn, J. Levels of strategic purchasing: Impact on supply integration and performance *Journal of Purchasing & Supply Management*. 2006 Vol 12 107–122

Petersen, K. J., Handfield, R. B., Ragatz, G. L. A model of supplier integration into new product development *Journal of Product Innovation Management*. 2003 Vol. 20, pp. 284–299

Petersen, K. J., Handfield, R. B., Ragatz, G. L. Supplier integration into new product development: coordinating product, process and supply chain design *Journal of Operations Management*. 2005 Vol. 23 pp. 371–388

Poirier, C. and Quinn, F. Calibration supply chain management *Computer Sciences Corporation Report* 2003

Porter, M.E., Technology and competitive advantage *Journal of Business strategy*. 1985. Volume 5 Iss. 3, pp. 60–78.

Potter, A., Mason, R., Lalwani, C. Analysis of factory gate pricing in the UK grocery supply chain *International Journal of Retail & Distribution Management*. 2007 Vol. 35 Iss: 10, pp. 821 - 834

Power, D. Supply chain management integration and implementation: a literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2005 Vol. 10 Iss: 4, pp.252 - 263

Prajogo, D., Olhager, J. Supply chain integration and performance: The effects of long-term relationships, information technology and sharing, and logistics integration. *International Journal of Production Economics*. 2012 Volume 135, Issue 1, pp. 514-522

Ragatz, G. L., Handfield, R. B. & Petersen, K. J. Benefits associated with supplier integration into new product development under conditions of technology uncertainty. *Journal of Business Research*. 2002 Vol. 55 pp. 389–400.

Ragatz, G.L., Handfield, R.B., Petersen, K.J., 2002. Benefits associated with supplier integration into new product development under conditions of technology uncertainty. *Journal of Business Research* 55 (5), 389–400.

Ranganathan, C., Teo, T. S.H., Dhaliwal, J. Web-enabled supply chain management: Key antecedents and performance impacts *International Journal of Information Management*. 2011 Volume 31, Issue 6, pp. 533-545

Richey Jr, R. G., Chen, H., Upreti, R., Fawcett, S. E., Adams, F. G. The moderating role of barriers on the relationship between drivers to supply chain integration and firm performance *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2009 Vol. 39 Iss: 10, pp.826 – 840

Romano, P. Co-ordination and integration mechanisms to manage logistics processes across supply networks *Journal of Purchasing and Supply Management*. 2003 Volume 9, Issue 3, Pages 119–134

Rosenzweig, E. D., Roth, A. V., Dean Jr, J. W. The influence of an integration strategy on competitive capabilities and business performance: an exploratory study of consumer products manufacturers. *Journal of Operations Management*. 2003 Vol. 21, Issue 4, pp. 437-456

Sabath, R. Volatile demand calls for quick response: the integrated supply chain. *Logistics Information Management*. 1995 Vol. 8 Iss: 2, pp.49 - 52

Sako, M., Lamming, R., Helper, S. R. Supplier relations in the UK car industry: good news--bad news. *European Journal of Purchasing & Supply Management*. 1994 Vol. 1, Issue 4, pp. 237–248

Sanders, N. R., Autry, C. W., Gligor, D. M. The impact of buyer firm information connectivity enablers on supplier firm performance: A relational view *International Journal of Logistics Management*, The. 2011 Vol. 22 Iss: 2, pp.179 - 201

Sanders, N. R. An empirical study of the impact of e-business technologies on organizational collaboration and performance *Journal of Operations Management*. 2007 Volume 25, Issue 6, pp. 1332–1347

Saranga, H. & Moser, R. 2010, "Performance evaluation of purchasing and supply management using value chain DEA approach", *European Journal of Operational Research*, vol. 207, no. 1, pp. 197-205.

Scholz-Reiter, B., Frazzon, E. M., Makuschewitz, T. Integrating manufacturing and logistic systems along global supply chains *Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2010 Volume 2, Issue 3, pp. 216-223

Schubert, P., Legner, C. B2B integration in global supply chains: An identification of technical integration scenarios *The Journal of Strategic Information Systems*. 2011 Volume 20, Issue 3, pp. 250-267

Schubert, P., Legner, C. B2B integration in global supply chains: An identification of technical integration scenarios *Journal of Strategic Information Systems*. 2011 Volume 20, Issue 3, pp. 250-267

Selldin, E., Olhager, J. Linking products with supply chains: testing Fisher's model. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2007 Volume 12, Number 1, pp. 42-51

Seuring, S., Gold, S. Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2012 Vol. 17 Iss: 5, pp. 544 - 555

Sezen, B. Relative effects of design, integration and information sharing on supply chain performance *Supply Chain Management: An International Journal*. 2008 Vol. 13 Iss: 3, pp. 233 - 240

Sheu, J. B., Chou, Y., Hu, C. An integrated logistics operational model for green-supply chain management *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2005 Volume 41, Issue 4, Pages 287-313

Simatupang, T. M., Sridharan, R. The collaboration index: a measure for supply chain collaboration. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2005 Vol. 35, Iss: 1, pp. 44 - 62

Singh, P. J., Power, D. The nature and effectiveness of collaboration between firms, their customers and suppliers: a supply chain perspective Supply Chain Management: An International Journal. 2009 Vol. 14 Iss: 3, pp.189 - 200

So, S., Sun, H. Supplier integration strategy for lean manufacturing adoption in electronic-enabled supply chains Supply Chain Management: An International Journal. 2010 Vol. 15 Iss: 6, pp.474 - 487

Spekman, R.E., Kamauff J. W., Myhr, N. An empirical investigation into supply chain management: a perspective on partnerships. Supply Chain Management: An International Journal. 1995 Vol. 3 Iss: 2, pp.53 - 67

Stank, T. P., Daugherty, P. J., Ellinger, A. E. Marketing/Logistics Integration and Firm Performance. International Journal of Logistics Management, The. 1999 Vol. 10 Iss: 1, pp.11 - 24

Stank, T. P., Goldsby T. J. A framework for transportation decision making in an integrated supply chain. Supply Chain Management: An International Journal. 2001. Vol. 5 Iss: 2, pp.71 - 78

Stevens, G. C. Integrating the Supply Chain International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 1989 Vol. 19 Iss: 8, pp.3 - 8

Stock, G. N., Greis, N. P., Kasarda, J. D. Enterprise logistics and supply chain structure: the role of fit Journal of Operations Management. 2000 Volume 18, Issue 5, Pages 531-547

Subramanian, K., Rawlings, J. B., Maravelias, C. T., Flores-Cerrillo, J., Megan, L. Integration of control theory and scheduling methods for supply chain management Computers & Chemical Engineering 2012

Suhong, L., Subba Rao, S., Ragu-Nathan, T.S., Ragu-Nathan, B. Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices. Journal of Operations Management. 2005 Vol. 23 pp. 618–641

Sun, S-Y, Hsu S-H, Hwang W-J The impact of alignment between supply chain strategy and environmental uncertainty on SCM performance. Supply Chain Management: An International Journal. 2009 Vol. 14 Iss: 3, pp.201 - 212

Suzuki, A., Jarvis, L. S., Sexton, R. J. Partial Vertical Integration, Risk Shifting, and Product Rejection in the High-Value Export Supply Chain: The Ghana Pineapple Sector World Development .2011 Vol. 39, Issue 9, Pages 1611-1623

Sytch, M., Gulati, R. Creating value togetherMIT Sloan Management Review.2008Vol. 50 Issue 1, pp. 12–13

Tan, K.C. A framework of supply chain management literatureEuropean Journal of Purchasing & Supply Management.2001Vol. 7. 39-48

Themistocleous, M.,Irani, Z., Love, P. E. D.Evaluating the integration of supply chain information systems: A case studyEuropean Journal of Operational Research.2004Vol. 159 pp. 393–405

Toni, A., Nassimbeni, G.An integrated production performance measurement systemIndustrial Management & Data Systems.1996 Vol. 97 Iss: 5, pp.180 - 186

Toni, A., Nassimbeni, G.Buyer-supplier operational practices, sourcing policies and plant performances: Results of an empirical researchInternational Journal of Production Research. 1999Vol. 37, Issue 3

Trent, R.J., Monczka, R.M., 1998. Purchasing and supply management: trends and changes throughout the 1990s. International Journal of Purchasing and Materials Management 34 (4), 2–11.

Trkman, P., McCormack, K., Valadares de Oliveira, M. P., Ladeira, M. B.The impact of business analytics on supply chain performanceDecision Support Systems. 2010 Volume 49, Issue 3, pp. 318-327

Turkulainen, V., Ketokivi, M.Cross-functional integration and performance: what are the real benefits? International Journal of Operations & Production Management.. 2012 Vol. 32 Iss: 4, pp.447 - 467

Valadares de Oliveira, M. p., McCormack, K., Trkman, P.Business analytics in supply chains – The contingent effect of business process maturityExpert Systems with Applications.2012Volume 39, Issue 5, pp. 5488-5498

van der Vaart, T., van Donk, D. P., Gimenez, C., Sierra, V.Modelling the integration-performance relationship: Collaborative practices, enablers and contextual factorsInternational Journal of Operations & Production Management.2012Vol. 32 Iss: 9, pp.1043 – 1074

van der Vaart, T., van Donk, D. P.A critical review of survey-based research in supply chain integration International Journal of Production Economics.2008Vol. 111, Issue 1, pp. 42-55

Van Der Vlist, P., Hoppenbrouwers, J. J. E. M., Hegge, H. M. Extending the enterprise through multi-level supply control. *International Journal of Production Economics*. 1997 Volume 53, Issue 1, pp. 35–42

van der Vorst, J. G.A.J., Beulens, A. J.M Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* .2002 Vol. 32 Iss: 6, pp.409 - 430

van Donk, D. P., van der Vaart, T. Responsiveness through buyer-focused cells: exploring a new supply strategy. *International Journal of Operations & Production Management*. 2007 Vol. 27 Iss: 12, pp.1362 - 1379

van Donk, D. P., van der Vaart, T. A case of shared resources, uncertainty and supply chain integration in the process industry. *International Journal of Production Economics*. 2005 Volume 96, Issue 1, Pages 97-108

van Donk, D. P., van der Vaart, T. Business conditions, shared resources and integrative practices in the supply chain. *Journal of Purchasing and Supply Management*. 2004 Volume 10, Issue 3, Pages 107-116

Van Donk, D.P., Van Der Vaart, T., 2008. A critical review of survey-based research in supply chain integration. *International Journal of Production Economics*. 111 42–55

van Hoek, R. I. Logistics and virtual integration: Postponement, outsourcing and the flow of information. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 1998 Vol. 28 Iss: 7, pp.508 - 523

van Hoek, R.I., Commandeur, H.R., Vos, B. Reconfiguring logistics systems through postponement strategies. *Journal of Business Logistics*. 1998 Vol, 19 Issue 1, pp. 33–54

Vijayasarathy, L. 2010. Supply integration: An investigation of its multi-dimensionality and relational antecedents. *International Journal of Production Economics*. 124 489–505

Wagner, S. M., Johnson, J. L. Configuring and managing strategic supplier portfolios. *Industrial Marketing Management*. 2004 Vol. 33, Issue 8, pp. 717-730

Wagner, S.M., Krause, D.R. Supplier development: communication approaches, activities and goals. *International Journal of Production Research*. 2009 Vol. 47 Issue 12, pp. 3161–3177

Wang, E.T.G., Tai, J.C.F., Wei, H.L., 2006. A virtual integration theory of improved supply-chain performance. *Journal of Management Information Systems* 23 (2), 41–64.

Wang, M., Liu, L., Wang, H., Cheung, W. K., Xie, X. On-demand e-supply chain integration: A multi-agent constraint-based approach *Expert Systems with Applications*. 2008 Vol. 34, Issue 4, pp. 2683-2692

Wang, W., Wee, H., Tsao, H.-S. J. Revisiting the note on supply chain integration in vendor-managed inventory *Decision Support Systems*. 2010 Volume 48, Issue 2, pp. 419-420

Wang, Y. & Lan, Y. 2011a, "Measuring Malmquist productivity index: A new approach based on double frontiers data envelopment analysis", *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 54, no. 11–12, pp. 2760-2771.

Wang, Y. & Lan, Y. 2011b, "Measuring Malmquist productivity index: A new approach based on double frontiers data envelopment analysis", *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 54, no. 11–12, pp. 2760-2771.

Wiengarten, F., Humphreys, P., Cao, G., Fynes, B., McKittrick, A. Collaborative supply chain practices and performance: exploring the key role of information quality *Supply Chain Management: An International Journal*. 2010 Vol. 15 Iss: 6, pp. 463 - 473

Wisner, J.D., Tan, K. C., Leong, K. Principles of Supply Chain Management (second ed.) South-Western, Mason, OH 2008

Wong C. Y. & Boon-Itt, S. The influence of institutional norms and environmental uncertainty on supply chain integration in the Thai automotive industry *International Journal of Production Economics*. 2008 Volume 115, Issue 2, Pages 400–410

Wu, D. Coordination of competing supply chains with news-vendor and buyback contract *International Journal of Production Economics*. 2011

Yanhuia, J., Xiana, L. A Study on Supply Chain Information Integration of Commodity Circulation Based on Grid Procedia Engineering. 2012 Volume 29, pp. 553-557

Yao, Y., Evers, P. T., Dresner, M. E. Supply chain integration in vendor-managed inventory *Decision Support Systems* 2007 Vol. 43, pp. 663– 674

Yu, Z., Yan, H., Cheng, T. C. E. Benefits of information sharing with supply chain partnerships. *Industrial Management & Data Systems*. 2001. Vol. 101 Iss: 3, pp.114 - 121

Yusuf, Y. Y., Little, D. An empirical investigation of enterprise-wide integration of MRP II. *International Journal of Operations & Production Management*. 1998 Vol. 18 Iss: 1, pp.66 - 86

Zailani, S., Rajagopal, P. Supply chain integration and performance: US versus East Asian companies. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2005 Vol. 10 Iss: 5, pp.379 - 393

Zhao, X., Huo, B., Flynn, B. B., Yeung F. The impact of power and relationship commitment on the integration between manufacturers and customers in a supply chain. *Journal of Operations Management*. 2008. Volume 26, Issue 3, Pages 368-388

Zhou, H., Benton, W.C. Supply chain practice and information sharing. *Journal of Operations Management*. 2007 Vol. 25, Issue 6, pp. 1348–1365